

Otto Brandt

**INFRAELEMENTTIEN TUOTANNONSUUNNITTELU JA -OHJAUS PARMA OY:N
KORVENKYLÄN TEHTAALLA**

**INFRAELEMENTTIEN TUOTANNONSUUNNITTELU JA -OHJAUS PARMA OY:N
KORVENKYLÄN TEHTAALLA**

Otto Brandt
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Tekijä: Otto Brandt

Opinnäytetyön nimi: Infraelementtien tuotannosuunnittelu ja -ohjaus Parma Oy:n Korvenkylän tehtaalla

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Infra concrete elements production planning and control at Parma Oy's Korvenkylä factory

Työn ohjaajat: Miikka Torkell (Parma Oy), Antti Ukonmaanaho (Oamk)

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 60

Tuotannosuunnittelu on keskeinen osa yrityksen toiminnanohjausta. Tuotannosuunnittelulla ja -ohjauksella pyritään tekemään yrityksen päivittäisestä toiminnasta mahdollisimman ennalta suunniteltua, hallittua ja optimoitua. Hyvällä tuotannosuunnittelulla ja -ohjauksella minimoidaan riskit ja viiveet tuotantoketjussa.

Tavoitteena opinnäytetyölle oli tuoda esille infraelementtien valmistuksen erityispiirteitä sekä kehittää yrityksen tuotannosuunnittelua ja -ohjausta tukemaan nykyaikaista tuotantoa. Tarkoituksena oli tuoda esille ruohonjuuritasolla havaittuja käytännön kehittämisideoita.

Työssä perehdyttiin infraelementtien valmistuksen ajankohtaisiin määräyksiin ja ohjeistuksiin. Opinnäytetyössä analysoitiin kesällä 2023 toteutettua infrarakentamiselementtikohdetta Laurila-Rovaniemi-rataosuudella. Kohteen avulla tuotiin esille ratarakentamisen erityispiirteitä sekä yrityksen tuotannosuunnittelussa ja -ohjauksessa havaittuja käytännön kehityskohtia. Työn pohjalta keskeisiksi kehityskohdiksi nousivat työvaihesuunnittelun parantaminen, tuotannon optimointi sekä nykyisen tuotannosuunnittelu ja -ohjausjärjestelmän ominaisuuksien kehittäminen. Kehityskohdat toteuttamalla yritys pystyy entistä paremmin suunnittelemaan, ennakoimaan ja optimoimaan omaa tuotantoaan tehtaalla. Tuotannosuunnittelu ja -ohjausjärjestelmän kehittäminen nykyaikaisemmaksi kokonaisvaltaiseksi toiminnanohjausjärjestelmäksi palvelisi koko yrityksen henkilöstöä aina ruohonjuuritasolta ylimpään johtoon.

Asiasanat: Betonirakentaminen, infra, toiminnanohjaus, tuotannosuunnittelu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, Option of House Building Engineering

Author: Otto Brnadt

Title of thesis: Infra concrete elements production planning and control at Parma Oy's Korvenkylä factory

Supervisor(s): Miikka Torkell (Parma Oy) and Antti Ukonmaanaho (Oamk)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 60

Production planning is a key part of enterprise resource planning. Production planning and control aim to make the daily operations of company as pre planned as possible. Effective production planning and control help minimize risks and delays in the production chain.

The aim of the thesis was to highlight the special characteristics of infrastructure concrete elements manufacturing and to develop company's production planning and control to support modern production. The thesis focused on the current regulations and guidelines for infrastructure element manufacturing. The thesis analyzed a railway infrastructure construction element project carried out summer of 2023 on the Parma Oy's Korvenkylä factory. The project highlighted the specific characteristics of railway elements manufacturing and practical improvement areas observed in the company's production planning and control. Based on the thesis, the key areas for development were identified as improving work phase planning, optimizing production, and enhancing the features of the current production planning and control system. Implementing these development areas will enable company to better plan, anticipate and optimize its own production at the factories. By developing the production planning and control system into a more modern comprehensive enterprise resource planning system, it would serve the entire company's personnel from grass-roots level to top management.

Keywords: Concrete construction, infrastructure, operations management, production planning

ALKULAUSE

Alkuun haluan kiittää Consolis Parmaa tämän opinnäytetyön mahdollistamisesta. Tämän työn tekeminen antoi minulle mahdollisuuden kehittää omaa osaamistani betonielementtirakentamisen ja tuotannosuunnittelun sekä -ohjauksen parissa. Erityiskiitokset tämän työohjauksesta vastanneille Miikka Torkellille ja Antti Ukonmaanaholle sekä koko Korvenkylän tehtaan henkilöstölle.

28.2.2024

Otto Brandt

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	INFRAELEMENTTIEN ERITYISPIIRTEET	8
2.1	InfraRYL	8
2.2	P-lukubetoni	10
2.2.1	P-luvun määrittäminen	15
2.2.2	P-lukubetonien testaus.....	15
2.2.3	Dokumentaatio ja ennakkokokeet	17
2.3	Laatuluokitukset	18
2.4	Pintakäsittelyt	23
2.4.1	Kostean betonin pintakäsittely	23
2.4.2	Kovettuneen betonin pintakäsittely	26
3	TUOTANNON SUUNNITTELU JA -OHJAUS	30
3.1	Tuotannosuunnittelu prosessina.....	31
3.2	Tuotannosuunnittelu ja -ohjaus Parmassa	38
4	CASE-ESIMERKKIKOHDE LAURILA–ROVANIEMI-RATASILTAELEMENTIT	41
4.1	Muottityö.....	43
4.2	Raudoitustyö	47
4.3	Varustelu	49
4.4	Betonointi	52
4.5	Pintakäsittelyt	54
4.6	Laadunvarmistus	55
5	YHTEENVETO	57
	LÄHTEET.....	59

1 JOHDANTO

Nykyaikaisessa tahtiaikataulurakentamisessa rakentamisen läpivientiajat halutaan pitää mahdollisimman lyhyinä. Esivalmistetuilla betonielementeillä työmaalla tehtävän työn määrä vähenee ja sitä kautta hankkeen läpivientiaika lyhenee. Betonielementit valmistetaan elementtitehtaalla hallituissa olosuhteissa. Tuotanto suunnitellaan ennalta tarkkaan, rakentamisen olosuhteet ovat vakioituneet ja tuotanto on tehokasta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuoda esiin infraelementtien valmistuksen erityispiirteitä, sekä kehittää yrityksen tuotannosuunnittelua ja -ohjausta. Työn keskeinen näkökulma on nostaa esiin, miten infraelementtien tuotannosuunnittelu poikkeaa runkoelementtien tuotannosta. Opinnäytetyössä hyödynnetään case-esimerkin muodossa kesällä 2023 toteutettua Laurila–Rovaniemi-osuuden ratasiltaelementtikohdetta. Case-esimerkin avulla pyritään nostamaan tuotannosuunnittelussa- ja ohjauksessa havaittuja ongelmakohtia ja esittämään ideoita tuotannosuunnittelun parantamiseksi.

Opinnäytetyön tilaajayritys Consolis Parma on Suomen suurin betonielementtien valmistaja. Yritys hakee liiketoiminnalleen kasvavilta infrarakentamisen alueelta. Parmalla on Suomessa yksitoista elementtitehdasta. Consolis Parman liikevaihto oli vuonna 2022 245 miljoonaa euroa. Parma työllistää Suomessa 672 työntekijää. Parman vakiotuotteisiin kuuluvat useat erilaiset betonituotteet, kuten runkorakentamisen tuotteet (teräsbetoniset pilarit ja palkit sekä jännitetyt palkit suorakaidepalkista harjapalkkiin), laatat (ontelo- ja kuorilaatat, tasolaatat sekä TEK/TT-laatat), seinät (sandwich- ja kuorielementit, väliseinät sekä graafisetseinät) sekä infratuotteet (ratarakentamisen tuotteet, kaapelikourut, perustukset ja maatumakielementit). Parma tunnetaan markkinoilla korkealaatuisista tuotteista, toimitusvarmuudesta, ratkaisuista sekä asiakaspalvelusta.

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Parman Oulun Korvenkylän tehtaalla. Korvenkylän tehdas työllistää noin 40 henkilöä. Tehdas tunnetaan Parman sisällä monitoimitehtaana. Tehtaalla voidaan valmistaa teräsbetonisia pilareja ja palkkeja, jännitettyjä tuotteita (JB-palkit, HI-palkit sekä I-palkit), harmaita seiniä, massiivilaattoja, parvekkeita, TT/TEK-laattoja sekä infratuotteita. Tehtaan tuotannon pääpaino on kuitenkin runkoelementeissä.

2 INFRAELEMENTTIEN ERITYISPIIRTEET

2.1 InfraRYL

InfraRYL:ssa eli infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa on kirjattuna yleisesti hyväksytyt laatuvaatimukset. Infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa on esitettyä betonielementeille omat vaatimuksensa riippuen siitä, millaisia elementtejä ollaan aikeissa toteuttaa. Betonielementtien yleinen selostus löytyy kohdasta 41120 Betonielementtirakenteet. Yleisenä vaatimuksena valmistukselle on, että elementit valmistetaan suunnitelma-asiakirjojen pohjalta. Suunnitelma-asiakirjoista tärkeimpiä asiakirjoja ovat työselostus ja elementtikuvat. Valmistavalla tehtaalla tulee olla myös Ympäristöministeriön hyväksymän toimielimen varmentama tehtaan sisäinen laadunhallintajärjestelmä (FPC-laatukäsikirja) tai vaihtoehtoisesti tuotteella tulee olla CE-merkintä. Valmistavan tehtaan ei tarvitse laatia erillisiä työkohtaisia suunnitelmia, mikäli asiat on kuvattu laadunhallintajärjestelmään viranomaisen hyväksymällä tavalla ja tilaaja ei niitä erikseen sopimuksessa vaadi. (InfraRYL 2023/2.)

Infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa yleisenä ohjeena on, että elementtien valmistus voidaan aloittaa vasta sen jälkeen, kun elementtitehtaalla on pidetty tehdaskatselmus, jossa on käsitelty vähintään seuraavat asiat: toimituksen sisältö, suunnittelun tilanne ja aikataulu, mallielementit ja betonipintojen mallit, työselostus koskien elementtien valmistusta, käytettävät materiaalit, tehtaan laadun varmistus, elementtien viimeistely ja varastointi, kuljetus, elementtien vastaanotto-tarkastus sekä valmistus- ja toimitusaikataulut. Elementtikatselmukseen osallistuvat valmistavan tehtaan tuotanto-organisaatiota (esimerkiksi tehdaspäällikkö, projektipäällikkö, työnjohtaja, laatu-vastaava tai betonityönjohtaja), tilaajan edustaja ja tarvittaessa ulkopuolinen valvoja. Katselmuksesta laaditaan asianmukainen pöytäkirja molempien osapuolien allekirjoituksella. Mikäli edellä mainitut asiat ovat kunnossa, tuotanto voidaan käynnistää. (InfraRYL 2023/2.)

Elementtien pinnan laadussa noudatetaan yleisiä betonirakenteiden pintojen luokitusohjeita, joita käsitellään tämän opinnäytetyön luvussa 2.3. Elementtien pintojen laadun vaatimukset sekä voimassa olevat mittatoleranssit tulee valmistavan tehtaan tarkastaa valmistettavan kohteen työselos-

teesta sekä valmistuspiirustuksista. Erityishuomiota kannattaa kiinnittää suunnitelmissa mahdollisiin InfraRYL viittauksiin, koska tuotetyyppikohtaiset tai rakenneosakohtaiset toleranssivaatimukset voivat olla tiukennettuja. Esimerkiksi sillankansien pintoihin, laakerialustoihin ja reunapalkkeihin kohdistuu yleensä tarkennettuja rakenneosakohtaisia vaatimuksia. Elementtien valmistustoleranssit ovat normaaliluokassa (N), mikäli suunnitelmissa ei ole mainintaa tarkennetuista toleransseista. Kansallisessa ohjeessa määritelty normaaliluokka N täyttää eurokoodin mukaiset toleranssiluokkien 1 ja 2 vaatimukset. Erikoisluokkaa (E) voidaan esittää ulkonäöllisesti vaativiin kohteisiin, joissa myös mittatarkkuudella on tärkeä merkitys. (InfraRYL 2023/2.)

Mikäli tuotannossa havaitaan laadullisia poikkeamia, tulee niistä laatia tilaajalle poikkeamaraportti. Poikkeamaraporttiin kirjataan mahdollisimman tarkasti poikkeaman laatu, siihen johtaneet juurisyyt ja miten poikkeamat estetään jatkossa. Poikkeamaraportissa esitetään myös mahdolliset korjaavat toimenpiteet tai sen aiheuttamat mahdolliset lisäongelmat. Poikkeamatapauksissa on erityisen tärkeää ottaa asiasta yhteyttä kohteen pääsuunnittelijaan. Poikkeamien kohdalla suunnittelija määrittelee poikkeaman vaikutuksen. Poikkeamalla voi olla vaikutusta rakenteelliseen kestävyYTEEN, visuaaliseen tai arkkitehtuuriseen ilmeeseen. Poikkeamien korjauksissa on syytä perehtyä suunnittelijan korjausohjeiden lisäksi elementtien paikkauksen SILKO-ohjeisiin. SILKO-ohjeissa on esitetty korjausohjeita erityyppisille vaurioille ja niiden korjauksessa käytettäviin paikkausaineisiin. Väyläviraston alaisissa kohteissa aineiden tulee olla SILKO-hyväksytyjä. (InfraRYL 2023/2.)

Yleisesti infrarakentamisen kohteissa betonoinnin jälkeen pinnoille on määritelty vähintään 7 vuorokauden kostejälkihoitoaika, elleivät kovettumisolosuhteet vaadi pidempää jälkihoitoaika. Betonoinnin pintaan voidaan levittää nestemäinen jälkihoitoaine. Jälkihoitoaineella pyritään muodostamaan betonin pintaan kalvo, joka hidastaa kosteuden poistumista betonista ja täten se ennaltaehkäisee kuivumiskutistumisen aiheuttamaa halkeilua. Jälkihoidolla turvataan myös vetolujuuden kehitystä. Jälkihoitoaineen tulee olla SILKO-hyväksytty Väyläviraston hyväksymä aine. Mikäli muotit poistetaan jälkihoidon aikana, tulee jälkihoitoainetta käytettäessä suihkuttaa sitä myös muottipinnoille. Jälkihoitoaineen ominaisuuksista on syytä varmistaa, onko se itsestään haihtuvaa vai joudutaanko se mahdollisesti poistamaan pinnan jatkokäsittelyitä varten. Jälkihoidossa betonipinnan suojataan liialliselta kuivumiselta sekä ulkoisilta rasiustekijöiltä. Betonipintojen liiallisen kuivumisen suojaus voidaan toteuttaa peittelemällä betonoitu kappale muovilla tai muulla peitteellä. Kosteuden haihtumista voidaan ennalta ehkäistä jälkihoitoaineen lisäksi kastelemalla elementin pintaa tai su-

muttamalla vettä peitteiden alle riittävän kosteuden takaamiseksi. Betonin jälkihoidon kannalta parhaat olosuhteet ovat vakioidut olosuhteet. Elementtien olisi hyvä siis olla sisätiloissa myös elementtien jälkihoidon aikana, jotta lämpötilaolosuhteet olisivat vakioidut ja välttyttäisiin auringon tai tuulen aiheuttamalta liialliselta pintojen kuivumiselta. (InfraRYL 2023/2.)

2.2 P-lukubetoni

Infrakohteissa käytetään pääsääntöisesti P-lukubetonia. P-lukubetoni poikkeaa normaaleista betoneista siten, että se kestää hyvin pakkasta sekä suolarasitusta. Pakkasekestävyyden kannalta pakkasekestävyyttä säätelevät sen huokosrakenne ja ulkoiset rasitustekijät. Pakkasekestävyyden kannalta hyvän huokosrakenteen muodostumiseen vaikuttaa vesi-sideainesuhde, sideaineen laatu, ilmahuokosmäärä ja sen jakauma sekä betonin jälkihoito. Infrarakenteet lajitellaan P-luvun mukaan pakkasekestävyysluokkiin, esimerkiksi P30 tai P50. Betonin pakkasekestävyys on sitä parempi mitä suurempi pakkasekestävyysluku on. P0-merkintä tarkoittaa sitä, että kyseessä on infrabetonien valmistusohjeeseen kuuluva infrabetoni, mutta varsinaista pakkasekestävyysvaatimusta ei ole. Taulukossa 1 on esitetty kootusti käyttöön suositellut infrabetonilaadut. (Väylävirasto 2020, 8.)

TAULUKKO 1. Käyttöön suositellut infrabetonilaadut (Väylävirasto 41/2020, 8.)

Infrabetonilaatu
C30/37 P0
C30/37 P30
C35/45 P0
C35/45 P30
C35/45 P50
C45/55 P50

Vuonna 2021 käyttöön otetussa uudessa infrabetonien valmistusohjeessa merkittävimmät muutokset olivat seuraavat: jatkossa on vain kuusi infrabetonilaatua, lieriölujuudet otettiin käyttöön, tavoitellamäärälle asetettiin maksimiarvo, uudet tehdaskohtaiset ennakkokokeet, vaativiin kohteisiin

erilliset kohdekohtaiset ennakkokokeet sekä kohdekohtaiset valettavat koekappaleet betoniase-malla. Betonielementtitehtaiden siirtymäaika muutosten käyttöönotossa päättyi kesällä 2022. (Man-tila, Punkki & Vuotari 2021, 68.)

Väyläviraston alaisissa kohteissa suunnittelu toteutetaan betonirakenteiden suunnittelun NCC1 2 -eurokoodin soveltamisohjeen mukaisesti, jolloin suunnitelmiin ei välttämättä merkitä betoniteolli-suudessa tunnettuja betonin rasitusluokkia. Rasitusluokkien tilalla on Väyläviraston oma rasitusluokkaryhmäluokitus (R), joka on jaoteltu neljään luokkaan R1, R2, R3 sekä R4. Kuten kuvasta 1 voidaan tulkita, luokkien R1 ja R2 erot johtuvat talvihoidosta aiheutuvasta suolarasituksesta. (Väylävirasto 2022, 8.)

Rasitusluokkaryhmä R1: Päälysrakenteen kansirakenne, maatuet, reunapal-
kit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat
valta- tai kantatiellä tai muulla tiellä, jonka talvihoi-
dossa käytetään suolaa säännöllisesti (KVL > 1 500,
esim. kaupunkien sisääntulotiet, talvihoitoluokka Is
tai I) sekä betonirakenteet silloissa, joiden alitse
kulkee jokin edellä mainituista teistä ja jotka sijait-
sevat kuutta metriä lähempänä tien reunaa.

Rasitusluokkaryhmä R2: Päälysrakenteen kansirakenne, maatuet, reunapal-
kit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat
tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa (KVL >
350, talvihoitoluokka Ib tai TIb) sekä betoniraken-
teet silloissa, joiden alitse kulkee jokin edellä mai-
nituista teistä ja jotka sijaitsevat kuutta metriä lä-
hempänä tien reunaa.

Rasitusluokkaryhmä R3: Siltarakenteet meren rannalla.

Rasitusluokkaryhmä R4: Siltarakenne ei kuulu mihinkään muuhun ryhmään.

KUVA 1. Rasitusluokkaryhmien sanalliset selitteet (Väyläviraston ohjeita 5/2022, 25.)

Lisäksi suunnitelmissa ilmoitetun betoniluokan valintaan vaikuttaa oleellisesti rasitusluokkaryhmän lisäksi rakenneosan altistuminen erilaisille olosuhteille. Rakenneosa ilmoitetaan suunnitelmissa lyhenteenä Ro. Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty suunnitteluohjeen mukaisia vaatimuksia erilaisille rakenneosille erilaisissa ympäristöissä. Taulukko on kuitenkin yleispätevä ja tapauskohtaiset määräykset löytyvät aina suunnitelmista. Tuotannosuunnittelu prosessissa on kuitenkin hyvä huomioida Infraelementtien poikkeavuus suunnittelumerkintöjen osalta. Suunnitelmissa ilmoitetaan betonin osalta rakenneosan tunnus (Ro), rasitusluokkaryhmä (R), lujuusluokka (C), P-lukuvaatimus (P), betonipeitteen nimellisarvo (C_{nom}), toteutusluokka, betonipintojen suojaus, käyttöikä sekä seuraamusluokka (CC). Suunnitelmissa voidaan ilmoittaa esimerkiksi näin antura Ro05, C30/37, C_{nom}=60 mm, toteutusluokka 2, CC2, 100 v). Merkintä tarkoittaa siis taulukon 3 mukaisesti perustuslaattaa meressä, C30/37, P0 ja rasitusluokka XC2, XS2. Näiden tietojen pohjalta valitaan käytettävä betonimassa valmistavan tehtaan reseptikirjastosta. Rasitusluokkaryhmä, rakenneosa ja P-lukuvaatimus vaikuttavat betonin suhteitukseen ja vesisementtisuhteeseen. (Väylävirasto 2022, 8.)

TAULUKKO 2. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset: päällysrakenne ja reunapalkit (Väylävirasto 5/2022, 26.)

Suunnitelmissa esitettävät asiat							
Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Vaatimukset			Suunnittelukäyttöikä	Rasitusluokat
			Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Raudoituksen betonipeitteen nimellisarvo, c_{nom} [mm]		
Päällysrakenteen palkkien ja kansilaattojen vedeneristeen alla olevat pinnat sekä muut ei suolasumurasitetut pinnat	Ro20	R1 R2 R4	C30/37	P30	40	100	XC3, XC4, XF2
Päällysrakenteen palkkien ja kansilaattojen suolasumurasitetut pinnat	Ro21	R1	C30/37	P30	45	100 (1)	XC3, XC4, XF2, XD1
		R2			40		XC3, XC4, XS1, XD1, XF2
		R3					
Päällysrakenteen ja maatukien reunapalkit	Ro22	R1 R2	C35/45	P50	45	50 (2)	XC4, XD3, XF4
		R3		P30			XC4, XS1, XD3, XF2
		R4	C30/37			50	XC4, XF2
Siirtymälaatat	Ro23	R1 R2	C35/45	P50	40 (3)	50	XC2, XD1, XF4
		R3	C30/37	P30			XC2, XD1, XF2
		R4					XC2, XF2

- 1) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Betonin lujuusluokan ollessa vähintään C55/67 ja P-luvun ollessa vähintään P50 ei rakennetta tarvitse suojata.
- 2) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Julkaisun Siltojen reunapalkkien kuoret [12] mukaisien reunapalkkien pintoja ei tarvitse suojata. Tällöin sisäosalle käytetään Ro20 rasitusluokkaryhmän R4 mukaisia arvoja. Kuorirakenteen rasitusluokat Ro22 mukaan.
- 3) Mikäli sillan siirtymälaatta valetaan maata vasten, on betonipeitteen nimellisarvon (c_{nom}) oltava vähintään 50 mm.

TAULUKKO 3. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset: alusrakenne (Väylävirasto 5/2022, 27.)

Suunnitelmissa esitettävät asiat							
Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokaryhmä	Vaatimukset			Suunnittelukäyttöikä	Rasitusluokat
			Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Raudituksen betoni- peitteen nimellisarvo, c_{nom} [mm] (vähim- mäisarvo)		
Teräsputken tai muun tiiviin kiinnivaletun kuoren sisävalu tasolta maanpinta – 1 m alas	Ro01	R4	C30/37	P0	40	100	XC2
Teräsputken tai muun tiiviin kiinnivaletun kuoren sisävalu tasolta maanpinta – 1 m ylös	Ro02	R4	C30/37	P30	40	100	XC2, XF2
Peruslaatta yleensä	Ro03	R4	C30/37	P0	50/100 (25)	100	XC2
Peruslaatta vedessä	Ro04				(6)		
Peruslaatta meressä	Ro05				60/100 (40)		
					(6)		XC2, XS2
Rengaskehän peruslaatta	Ro06	R1	C35/45	P50	50/100 (35)	100	XC2, XD1, XF4
		R2	C30/37	P30	(6)		
		R4			50/100 (25)		
					(6)		XC2, XF2
Peruslaatta ajokaistojen välillä ja suolasumurasituksen ulottuma-alueella (peittosyvyyden < 0,7 m)	Ro07	R1	C35/45	P50	50/100 (35)	100	XC2, XD1, XF4
		R2	C30/37	P30	(6)		
Peruslaatta (peittosyvyyden 0,7 – 1,5 m) suorasuurasituksen ulottuma-alueella tai kloridipitoisten hulevesien vaikutusalueella	Ro08	R1	C30/37	P0	50/100 (35)	100	XC2, XD1
		R2					
Maa- ja välituet yleensä	Ro10	R1	C30/37	P30	45	100	XC3, XC4, XF2
		R2					
		R4					
Suolasumurasitetut ja kloridipitoisten hulevesien vaikutusalueella olevat maa- ja välituet	Ro11	R1	C35/45	P50	45	100	XC3, XC4, XD3, XF4
		R2	C30/37	P30	40	(4)	XC3, XC4, XD1, XF2
		R3				100	XC3, XC4, XS1, XF2
Maatukien ja päälysrakenteen siipimuurit ja siirtymäläattojen yläpuoliset osat (ulkopinta maatukien mukaan)	Ro12	R1	C30/37	P30	45	100	XC3, XC4, XD2, XF2
		R2			40	100	XC3, XC4, XD1, XF2
Tukirakenteet vedessä tasolta NW - 1 m alaspäin	Ro13	R4	C30/37	P0	50	100	XC2
Tukirakenteet vedessä tasolta NW - 1 m ylöspäin	Ro14		C35/45	P50	100	100	XC3, XC4, XF4
Tukirakenteet meressä tasolta NW - 1 m alaspäin	Ro15		C30/37	P0	60	100	XC2, XS2
Tukirakenteet meressä NW - 1 m ylöspäin	Ro16		C45/55	P50	110	100	XC4, XS3, XF4
					(7)		

- 4) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Suojauksena voidaan käyttää myös julkaisun Siltapilareiden kuoret [13] mukaisia kuorirakenteita. Betonisen kuorirakenteen rasitusluokat Ro11 mukaan.
- 5) Suunnittelukäyttöikä edellyttää maata vasten olevien kloridirasitettujen pintojen suojausta.
- 6) Muotia vastaan valettu tai laatan yläpinta/maata tai kalliota vastaan valettu. Suluissa on halkeamalakennassa käytettävä betoni- ja betonipeitteen vähimmäisarvo ($c_{min,du}$) tavanomaiselle raudoitteelle.
- 7) Pienemmän nimellisen suojabetoni- ja betonipeitteen (c_{nom} kuitenkin vähintään 60 mm) käyttö edellyttää julkaisun Siltapilareiden kuoret [13] mukaisen tai muun vastaavan suoja- ja raudituksen käyttöä vähintään tasolle HW + 1 m ja meressä tasolle HW + 2 m, jotta esitetty suunnittelukäyttöikä saavutetaan. Avomerirakenteissa ulottuma arvioitava tapauskohtaisesti. Betonisen kuorirakenteen P-lukuvaatimus on P70. Rasitusluokat Ro14/16 mukaan.

2.2.1 P-luvun määrittäminen

P-luku tulee määrittää Infrabetonien valmistusohjeen luvun 7.1 tai 7.2 mukaisesti. P-luvun määrittäminen perustuu useiden vuosikymmenten saatossa tehtyihin laboratorio- ja kenttäkokeista saatuihin pakkasenkestävyyskokeiden tuloksiin. P-luvun määrittämisessä otetaan huomioon myös betonitekniiikan tuomat tarkennukset ja kansainväliset betoninormit. Elementtitehtaiden osalta P-luku määritetään suhteitustietojen, tehtaalla mitattujen ilmamäärien ja jälkihoitoajan perusteella. Ilmamäärä mitataan jokaisesta valmistettavasta annoksesta. P-luvun määrittämisessä tehtaalla on apuna väyläviraston laatima Excel-taulukko, johon arvot syöttämällä saadaan laskettua P-luku. P-luvun laskentaan Excelissä käytetään samoja kaavoja kuin Infrabetonien valmistusohjeen luvussa 7.1. (Väylävirasto 2020, 35–37.)

P-luku voidaan määrittää myös suoralla pakkaskokeella. Tällöin P-luku määritellään standardin CEN/TS 12390-9 mukaisen 56 kierroksen pakkassuolakokeen ja suhteitustietojen avulla. Parmalla suoran pakkaskokeen suorittaa ulkopuolinen viranomaisen hyväksymä laboratorio. (Väylävirasto 2020, 37.)

2.2.2 P-lukubetonien testaus

P-lukubetoneille tulee tehdä betoniasemalla betonilaatukohtaisesti testejä, kun betonia valmistetaan. Ohjeistuksen mukaisesti testejä tehdään niin tuoreelle betonille kuin kovettuneelle betonille. Infrabetonien testauksessa sovelletaan Väyläviraston ohjetta Infrabetonien valmistuksesta sekä eurooppalaista standardisarjaa EN12350 tuoreen betonin testauksesta. (Väylävirasto 2020, 32.)

P-lukubetoneista tulee mitata standardin SFS-EN 12350 mukaisesti tuoreen betonin ilmamäärä ja notkeus. Elementtiteollisuudessa valmistettavien P-lukubetonilaatujen ilmamäärät mitataan päivittäin kolmesta ensimmäisestä sekoittimen annoksesta ja niiden jälkeen vähintään joka kymmenestä annoksesta. Ilmamäärä mitataan käyttäen standardin SFS-EN 12350-7 painemenetelmää. Standardin mukaan betonin ilmamäärä voidaan määrittää kahdella eri menetelmällä käyttäen vesipatjasmenetelmää tai painemittarimenetelmää. Infrabetonien ilmamäärän mittauksessa tulee ottaa huomioon tiukennetut määräykset ilmamäärissä. Ilmamäärien yksittäinen tavoiteilmamäärä ei saa

ylittää 2,5 %-yksikköä. Mitattu ilmamäärän yksittäinen arvo ei saa myöskään alittaa tavoiteilmamäärää enempää kuin 1,0 %-yksikköä. (Väylävirasto 2020, 32.)

Tuoreen betonin notkeus testataan standardin SFS-EN 12350-2 mukaisesti. Painuman testauksessa tuore betoni tiivistetään ennalta määritetyn kokoisen kartion sisään kerroksittain. Tämän jälkeen kartio vedetään ylös ja betonin painuma antaa mittausarvon betonin notkeuden määrittämiseksi. Saadut tulokset dokumentoidaan tarkasti. Dokumentissa tulee viitata mittausstandardiin, näytteelle tulee määrittää tunnistustiedot, testauspaikka ja aika, painuman tyyppi, mitattu hyväksyttävä painuma, poikkeamat standardista sekä testin suorittaneen henkilön kuittaus. Lisäksi dokumenttiin voidaan merkata betoninäytteen lämpötila, kellonaika ja määritelty painumaluokka tai painuman määritelty tavoitearvo. (SFS-EN 12350-2.)

Kovettuneen betonin testauksessa betonin puristuslujuuden vaatimustenmukaisuus testataan betoniasema- ja betonilaatukohtaisesti. Jokaisesta infrabetonilaadusta muodostetaan oma arvosteluerä. Arvosteluerät elementtituotannossa ja työmaatoteutuksessa poikkeavat toisistansa. Työmaatoteutuksen InfraRYLin arvosteluerä pohjautuu valettavaan kohteen rakenneosien mukaisesti. Esimerkiksi perustukset ja sillankansirakenne muodostavat omat arvostelueränsä, joka ei ole sama asia kuin valmisbetoniasemalla määritetty arvosteluerä betonilaatukohtaisesti. Elementtiteollisuudessa betoniperheen arvostelueränä toimii betonilaatukohtainen arvosteluerä. Mikäli elementeistä halutaan rakenneosakohtaiset arvosteluerät, niistä täytyy sopia erikseen valmistavan tehtaan ja asiakkaan välillä. (Väylävirasto 2020, 33.)

Koekappaleiden puristuslujuus testataan koekappaleiden puristuslujuutta käsittelevän standardin SFS-EN-12390-3 mukaisesti akkreditoitussa testauslaitoksessa. Vaihtoehtoisesti puristuslujuuden määrittäminen voidaan suorittaa betoniaseman omalla kalibroidulla ja itsetestaus tasokokeen täyttävällä ulkopuolisen toimijan hyväksymillä resursseilla noudattaen standardeja SFS-EN 206 ja SFS 7022. Puristuslujuus testataan lieriöiden tai kuutioiden avulla betoninvalmistajan valinnan mukaisesti. Kuutiolujuuksien muutos lieriölujuuksiksi sallitaan, mutta muunnoksia toiseen suuntaan ei sallita. Lujuudet arvioidaan siis ainoastaan lieriölujuuksina. Muunnos tehdään betonin lujuusluokan lieriö- ja kuutiolujuuksien suhteella. Tämä käytäntö poikkeaa normaalista testauksesta infrabetonilaatujen osalta. (Väylävirasto 2020, 33.)

2.2.3 Dokumentaatio ja ennakkokokeet

Betonoinnin laatudokumentaatio kannattaa selvittää tilaajan kanssa kohdekohtaisesti. Alla esitettyjen vaatimusten lisäksi tilaaja saattaa vaatia erillistä betonointisuunnitelmaa. Elementtiteollisuudessa betonointisuunnitelmaa ei yleensä tehdä, koska tuotteet ovat yleensä sertifioituja ja lisäksi tehtaan toiminta on täten kuvattu valmistavan tehtaan laadunvalvontajärjestelmään eli FPC:hen. Väylävirasto sekä Kiwa Inspecta vaativat minimissään seuraavanlaista dokumentaatiota infrabetonien valmistuksesta: Tehdaskohtaiset ennakkokokeiden tulokset sekä tarvittaessa kohdekohtaisen ennakkokokeiden tulokset, infrakohdekohtaiset lujuuskoekappaletulokset, suhteitustiedot käytetyistä betonilaaduista sekä käytetyn kiviaineksen alkalikiviainesreaktiivisuuden luokka. Kohdekohtaiset ennakkokokeet eivät kuulu betonitehtaan tuotesertifioinnin piiriin. Kohdekohtaiset ennakkokokeet tehdään ainoastaan tilaajan erillisestä pyynnöstä. Kohdekohtaisia ennakkokokeita voidaan tilaajan toimesta vaatia erityisen vaativien rakenteiden osalta. Erityisen vaativia rakenteita ovat muun muassa vaikeasti valettavat rakenteet, erottumisherkät betonit sekä betonit, jonka lujuusluokka on suurempi kuin C45/55 tai P-lukuvaatimus on suurempi kuin P50. (Väylävirasto 2020, 38.)

Elementtitehtaalla tehdyt muistiinpanot, ennakkokoe tulokset, suhteitustiedot sekä laadunvalvontakokeiden tulokset säilytetään tilaajan mahdollisia tarkastuksia varten vähintään kymmenen vuotta. Betonielementtitehtaan on pidettävä kirjaa siitä, mitkä valmistetut annokset ovat Väyläviraston ohjeen mukaisesti valmistettuja infrabetoneja. Lisäksi tilaaja voi vaatia muita toimenpiteitä dokumentaatioon. (Väylävirasto 2020, 38.)

P-lukubetonin ennakkokokeiden tarkoituksena on varmistaa infrabetonien toimivuus valettavuuden, puristuslujuuden sekä pakkasenkestävyyden osalta. Infrabetonien ennakkokokeet ovat 2-tasoiset ja ne jaotellaan tehdaskohtaisiin sekä kohdekohtaisiin ennakkokokeisiin. Tehdaskohtaiset ennakkokokeet ovat betoniasema- ja betonilaatukohtaiset. Kohdekohtaiset ennakkokokeet tehdään erikseen niin vaadittaessa Väyläviraston tapauskohtaisen ohjeistuksen mukaisesti. (Väylävirasto 2020, 18.)

Tehdaskohtaisessa ennakkokokeessa tehdään sekoitusajan riittävyden testaaminen, tuoreen betonin kokeet sisältäen notkeuden korjaamisen tehonotkistimella, puristuslujuuden määrittämisen laboratorionkappaleilla ja tietyillä betonilaaduilla vaaditaan suorien pakkassuolakokeiden teettäminen. Tehdaskohtaisen ennakkokokeiden voimassaolosta vastaa valmistava tehdas ja niiden voimassaoloa valvotaan viranomaisten toimesta. (Väylävirasto 2020, 18.)

Kohdekohtaisia ennakkokokeita voidaan vaatia erityisen vaativien rakenteiden osalta kohdekohtaisesti. Kohdekohtaisia ennakkokokeita voi esittää kohteen tilaaja tai pääsuunnittelija. Lopullisen päätöksen kohdekohtaisesta ennakkokokeesta ja sen laajuudesta tekee Väyläviraston edustaja. Kohdekohtaiset ennakkokokeet toteutetaan yhteistyössä tilaajan ja valmistavan tehtaan kesken. Kohdekohtaisissa ennakkokokeissa pyritään laajimmillaan testaamaan ja varmentamaan valettavan betonielementin valmistuksen eri vaiheet erilaisin testein. Testit voivat koskevat muottia, raudoitusta, betonointia sekä jälkihoitoa. Kohdekohtaisessa testissä valetaan suunnitelmia vastaava kappale. Kappaleen betonin tulee vastata mahdollisimman tarkasti toteuttavan kohteen betonia. Mikäli kohteessa käytetään useita eri notkeusluokkia, ennakkokoe toteutetaan notkeimmalla betonimassalla. Kohdekohtaista ennakkokoea toteutettaessa tulee kuitenkin suunnitellun betoniladun tehdaskohtainen ennakkokoe olla voimassa. (Väylävirasto 2020, 27–28.)

2.3 LaatuLuokitukset

Elementtikuvissa betonipinnoille annetaan luokitukset ja vaatimukset tuotantotekniikoiden sekä pintatyyppin mukaan. Infraelementtikohteille ei ole varsinaisesti omia laatuLuokituksia, joten niiden valmistussuunnitelmissa viitataan usein samoihin laatuvaatimukseen kuin muussa elementtituotannossa. LaatuLuokitukset jakautuvat kirjaintunnuksin neljään eri ryhmään AA, A, B tai C. Näistä luokitus AA on vaativin ja C matalin. Betonipinnan luokkamääritys asettaa omat ehtonsa muottiratkaisulle sekä muotinpinntamateriaalille. Jokaiselle luokalle on määritelty omat laatuoleranssit. Laatuoleranssit muottia vasten valetuille pinnoille löytyvät taulukosta 4. (BY40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 14.)

TAULUKKO 4. Muottia vasten valettujen elementtien luokitustaulukko (By 40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 116)

Laatutekijät		Vaatimukset			
		Luokka AA	Luokka A	Luokka B	Luokka C ¹⁾
Nystermä					
suurin korkeus, h	mm	2	3	6	6
suurin leveys (pisin mitta)	mm	2	9	20	20
suurin määrä ²⁾	kpl/m ²	h ≥ 1 mm 10	h ≥ 2 mm 20	h ≥ 4 mm 40	h ≥ 4 mm 40
Syvennys					
suurin syvyys, h	mm	2	4	7	7
suurin leveys (pisin mitta)	mm	4	9	15	15
suurin määrä ³⁾	kpl/m ²	h ≥ 1 mm 10	h ≥ 2 mm 20	h ≥ 4 mm 40	h ≥ 4 mm 40
Hammastus	mm	0,5	2	5	5
Valupurse tai valuhaava muottisauman kohdalla					
suurin korkeus tai syvyys	mm	1	2	4	4
suurin leveys	mm	2	3	6	6
suurin määrä (koskee myös korjattua saumaa)	% muottisaumojen pituudesta	5	20	30	30
Valupurse laatat (OL, KL)					
suurin korkeus, h	mm	ei sallita	h ≥ 2 mm 3	h ≥ 2 mm 5	h ≥ 2 mm 5
suurin leveys	mm	ei sallita	3	5	5
suurin määrä	m ² /laatta	ei sallita	3	9	9
Vaakasuorassa valettujen pintojen huokokset					
suurin läpimitta ja syvyys	mm	∅ ≥ 2 mm	∅ ≥ 2 mm	∅ ≥ 5 mm	∅ ≥ 5 mm
suurin kokonaismäärä	kpl/m ²	5 20	8 40	10 80	10 160
Pystysuorassa valettujen pintojen huokokset					
suurin läpimitta ja syvyys	mm	∅ ≥ 2 mm	∅ ≥ 2 mm	∅ ≥ 5 mm	∅ ≥ 5 mm
suurin kokonaismäärä	kpl/m ²	7 40	10 60	12 100	12 200
Vaakasuorassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)					
suurin koko	m ²	ei sallita	0,1	0,3	0,6
suurin määrä	kpl/100 m ²	ei sallita	1	2	4

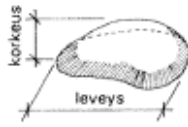
Laatutekijät		Vaatimukset			
		Luokka AA	Luokka A	Luokka B	Luokka C ¹⁾
Pystysuorassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava) suurin koko suurin määrä	m ² kpl/100 m ²	ei sallita ei sallita	0,2 2	0,3 2	0,6 4
Pinnan käyryys ja aaltoilu suurin mittapoikkeama	mm/1,5 m	2	5	8	8
Uran tai ulkoneman hammastus jatkokohdassa	mm	1	1	4)	4)
Uran tai ulkoneman käyryys ja aaltoilu suurin mittapoikkeama	mm/1,5 m	1,5	2	4)	4)
Väri vaihtelu harmaat pinnat valkobetonipinnat muut väribetonipinnat	luokat (liite 5)	A AA A	B A B	4) 4) 4)	4) 4) 4)

- 1) Heikointa C-luokan vaatimusta käytetään yleensä vain näkymättömiin jääville pinnoille (esim. perustuksiin ja alaslaskettujen kattojen betonipinnoille).
- 2) Sallittu määrä esim. luokassa A: korkeus 2...3 mm ja leveys ≤ 9 mm ≤ 20 kpl/m².
- 3) Sallittu määrä esim. luokassa A: syvyys 2...4 mm ja leveys ≤ 9 mm ≤ 20 kpl/m².
- 4) Ei vaatimuksia.

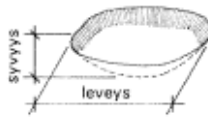
Luokan AA-betonipinta jää usein näkyvälle pinnalle ja sillä on arkkitehtuurinen merkitys. Luokan AA-betonipinta edellyttää lähes aina puhdasta muottipintamateriaalia. Laatuluokkien valinnasta aiheutuvat seikat on nostettava esille kohteen sopimuksia tehtäessä. Betonipinnan luokituksen ollessa AA betonipinnassa sallitaan vain pieniä korjauksia. Laatuluokan AA laatutekijöissä ei sallita lainkaan valupurseita eikä valettujen pintojen valuvikoja. Eri laatuluokitusten havainnollistavat kuvat siitä, mitä valupurseet sekä valuviat tarkoittavat, löytyvät kuvasta 2. Laatuluokituksen kriteerit ovat kaikista tiukimmat tässä luokassa. Laatukriteerit, luokan AA-betonipinnoille löytyvät edellisellä sivulla esitetystä taulukosta 4. Laatuluokan AA elementeille on syytä järjestää dokumentoitava elementtikatselmus, jossa sovitaan muun muassa elementtien toteutustavasta, pinnan laadusta ja muottisiteiden paikoista. Korkea laatuluokitus vaikuttaa oleellisesti valmistetun elementin hintaan. (BY40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 14–15.)

NYSTERMÄ

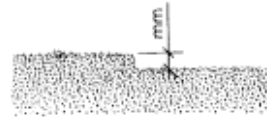
aiheutuu yleensä muotissa olevasta kolosta.

**SYVENNYS**

aiheutuu yleensä kohoumasta tai epäpuhtaudesta muotin pinnassa.

**HAMMASTUS**

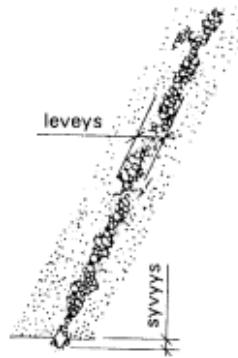
johtuu muottilevyjen tasoerosta

**VALUPURSE**

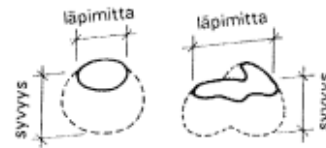
johtuu muotin saumasta jorsonneesta betonista.

**VALUHAAVA**

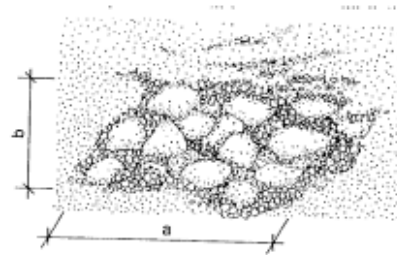
johtuu yleensä muottisauman kohdalla erottuneesta betonista

**HUOKOSET**

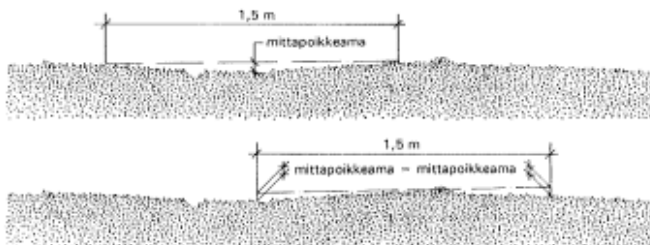
pyöreämuotoiset valuhuokokset syntyvät pinnan läheisyyteen kerääntyvistä ilma- ja vesikuplista. Hiekkapuhalluksessa huokosten koko ja määrä kasvavat.

**HARVAVALU TAI MUU VALUVIKA**

johtuu yleensä erottumisesta liian pienestä hienoainemäärästä tai puutteellisesta tärytyksestä.

**PINNAN KÄYRYYS JA AALTOILU**

johtuu muottipinnan tasapoikkeamista (mittapoikkeamaan ei lasketa nystermiä, syvennyksiä eikä huokosia).



KUVA 2. Kuvauksia pintojen laatutekijöistä (By40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 115)

Laatuluokka A vastaa vaatimuksiltaan puhtasvalupintoja. Luokka A on elementtiteollisuudessa tyyppillinen laatuluokka. Laatuluokka A kattaa muun muassa näkyville jääviä betonipintoja (seinät, pilarit, palkit, katot, parvekepielet sekä laatat). Laatuluokassa A noudatetaan samaa periaatetta kuin AA-luokassa eli pinnan visuaalisen ilmeen hyväksyy arkkitehti. Korjauksia tehtäessä on syytä muistaa, että pieniä virheitä ei ole syytä lähteä korjaamaan, ellei arkkitehti sitä vaadi. Pienet visuaaliset virheet eivät näy elementin pinnasta niin kauas kuin elementin paikattu kohta. Paikkausten häivyttäminen kokonaan pinnalta on yleensä mahdotonta. Työmaalla elementtejä joudutaan kuitenkin usein käsittelemään peittämällä elementtien tuentapisteet sekä elementtien nostolenkkien paikat. Myös muottiluokassa A on syytä käydä elementtien pinnan laadun taso, muottilevyjen aiheuttamat saumakohtat, muottisiteiden paikat sekä muut tarvittavat seikat asiakkaan kanssa läpi. (BY40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 15–16.)

Luokan B ja C betonipinnat ovat yleensä pintoja, joiden ulkonäölle ei aseteta suuria vaatimuksia ja joille sallitaan luokkaa A pienemmät vaatimukset. Luokan vaatimukset ovat saavutettavissa hyväkuntoisella muottikalustolla ja elementtitehtaan vakioituilla toimintavoilla betonoinnissa. Muotin pintamateriaali voi olla käytettyä, mutta sen on oltava huollettua ja pinnaltaan ehjää. Laatuluokkien B ja C välillä merkittävin ero on se, että luokan B pinnat sijoittuvat enemmän näkyville paikoille, kun taas laatuluokan C elementti pinnat ovat muun muassa perustuksia, alakattojen tai huonekalujen taakse jääviä pintoja. Laatuluokka B ja C täytyy Parman tehtailla rutiininomaisesti. Laatuluokka B ja C ei vaadi erillisiä toimenpiteitä laadunvarmistukseen. Vaikka puhutaan alhaisemmasta laatuluokituksesta, laatu tulee kuitenkin pinnan osalta täyttää ja näidenkin luokkien seuranta on hyvä toteuttaa päivittäisessä sisäisessä laadunvalvonnassa. Pintaluokituksen lisäksi elementissä korostuvat toleranssit ja suojabetonivaatimukset. Niiden vaatimukset eivät ole yhteydessä betonin pinnan laatuluokitukseseen. (BY40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 16.)

2.4 Pintakäsittelyt

Laatuluokitusten lisäksi betonipinnoille voidaan antaa erillisiä käsittelyvaatimuksia pintakäsittelyohjeissa. Elementin pintakäsittelyllä pyritään hakemaan rakenteen pinnalle tietynlaista ulkonäköä tai ominaisuuksia pinnan jatkokäsittelylle. Elementtien pintojen teko tapoja voidaan esittää niin tuoreelle betonille kuin kovettuneelle betonipinnalle. Infraelementtikohteissa esiintyviä tyypillisiä pintakäsittelyitä ovat vedeneristys, impregnointi, töhrynsuojaus sekä erilaiset happopesut. Näiden toteutukseen täytyy usein tehdä pohjatöitä kostealle sekä kovettuneelle betonille.

Käsittelemättömän elementin pinta on yleensä vaalea. Pinnan vaaleuteen vaikuttavat useat eri tekijät, kuten muottipinnan laatu, sen puhtaus, hienonrunkoaineuksen väri, sideainetyyppi ja betonin vesisideainesuhde. Mitä pienempi vesisideainesuhde on, sitä tummempi betonin pinta on. Paljon vettä sisältävän betonin pintaan voi saostua härmettä, kun vesi haihtuu betonista. Betonipinnasta tulee tällöin usein laikukasta. Edellä mainittujen betonin raaka-aineseikkojen myötä sävyeroja aiheuttaa myös muottipinta, huokoisuus, jälkihoito, muottiöljyt sekä varastointi. (BY40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 20.)

2.4.1 Kostean betonin pintakäsittely

Tuoreen betonipinnan käsittelytavat jaottuvat useimmiten pinnan tekotavan mukaan. Tuoreen betonipinnan käsittely jaotellaan useimmiten kolmeen eri pääluokkaan: hierretty, telattu tai töpötetty pinta. Näille jokaiselle pääluokalle on asetettu tarkat omat laatuvaatimukset. Hierrettyjä pintoja ovat tyypillisesti teräshierretty pinta, puuhierretty pinta sekä koneellisesti hierretty pinta. (By 40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 118.)

Teräshierrettyä pintaa käytetään yleensä, kun halutaan saada mahdollisimman sileä pinta. Teräshierretty pinta saadaan hiertämällä pintaa teräслиipalla. Kuvassa 3 on esitettyä teräshierrettyä pintaa. Mikäli pinta ei tasoitu teräслиipalla muutamalla vedolla, pinnassa on yleensä liikaa vettä. Vesi tulee poistaa pehmeällä harjalla tai telalla. Suuriin laattamaisiin pintoihin on hyvä käyttää puuhiertoa ennen teräshieron toteuttamista. (By 40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 121.)



KUVA 3. Teräshierretty pinta (By 40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 121)

Puuhierreyssä pinnassa betonin pinta oikaistaan ja hierretään laudan- tai levynpalan avulla. Puuhierretyn pinnan pinta on karheampi kuin teräshierretyn. Puuhierrossa liian voimakas hierto nostaa vettä valettuun pintaan. Veden kertyminen pintaan ei ole hyväksi elementin pinnalle. Elementin pintaan muodostuu silloin värieroja. (By 40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 120.)

Koneellisessa hierrossa pintaa hierretään koneellisesti laipan avulla. Koneellisessa hierrossa pintaan muodostuu pyöreä hiertokuvio. Koneellisesti hierretyn pinnan hiertokuvioita on kuvattuna kuvassa 4. Koneellisesti hierretty pinta antaa hyvät tartuntaominaisuudet pinnoitteille, päällysteille ja tarvikkeille. Hiertokertojen määrä vaikuttaa pinnan lujuuteen, tasaisuuteen, huokoisuuteen sekä kiiltoon. Koneellista hiertoa käytetään yleensä laattamaisissa pinnoissa. (By 40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 118.)



KUVA 4. Konehierretty pinta (By 40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 121)

Pinta voidaan myös telata. Telaus tehdään yleensä puu- tai teräshierretyn pinnan päälle tuoreelle betonipinnalle. Telauksen lopputulokseen vaikuttavat käytettävä telan tyyppi, telauksen ajankohta ja telauksien määrä. Telaus vähentää yleensä betonipinnan kiiltoa. Telattu pinta on yleensä tasalaatuisin käsintehty pinta. Telauksessa käytetään yleensä maalarin telaa. (BY40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 118.)

Piikkitelatussa pinnassa betonin pinta telataan piikkitelalla. Piikkitelattu pinta voidaan tehdä silloin, kun valetaan itsetiivistyvällä betonilla. Infrakohteessakin piikkitelaus voidaan tehdä vain, jos käytetään itsetiivistyvää betonia. Pinnan telauksessa itsetiivistyvässä betonissa oleva ilma poistuu betonin pintaosista. Piikkitelatun pinnan etuna on se, että se toimii hyvänä tasoitealustana. Piikkitelattua pintaa voidaan käyttää myös näkyviin jäävänä pintana pilareissa, palkeissa ja massiivilaatoissa. (BY40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 124.)

2.4.2 Kovettuneen betonin pintakäsittely

Kovettuneen betonin käsittelytavat voidaan jakaa neljään eri pääluokkaan: hiekkapuhalletut pinnat, happopestyt pinnat, hiotut pinnat sekä hakatut ja murretut pinnat. Käsittelytapa on ilmoitettu elementtikuvissa. Kovettuneen betonin käsittelytavalla haetaan kostean betonin pintakäsittelyn tavoin tietynlaista pinnan ulkonäköä tai ominaisuuksia jatkokäsittelylle. Infraelementeissä tyypillisimpiä pintakäsittelyjä ovat hiekkapuhallutus, hionta ja pinnan murtaminen. (BY40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 136–151.)

Hiekkapuhalletulla pinnalla tarkoitetaan pintaa, josta on poistettu sementtiliimaa, paljastettu huokosia sekä kulutettu kiviaineksen ja sideaineksen pintaa sameaksi. Hiekkapuhallutus siis avaa ja korostaa betonissa olevia huokosia. Kuvissa sekä työselosteessa tulee selkeästi olla ilmoitettuna pinnat, jotka puhalletaan. Kuvissa tulee selkeästi olla ilmoitettuna myös hiekkapuhalletun pinnan ryhmä. Suunnitelmien mukaisen hiekkapuhallutuspinnan saavuttamiseksi myös tuoreen betonipinnan käsittelyllä on merkitystä. Tuoreen betonin käsittelytavan valinta toimii ikään kuin pohjatyönä hiekkapuhalluksena. Pinnat jaotellaan laatutoleransseissa kolmeen ryhmään matala, keskisyvä ja syvä hiekkapuhallutus. Tarkemmat laatutoleranssien kuvaukset pintakäsittelyluokille löytyvät taulukosta 5. Matalassa hiekkapuhalluksessa elementin kivirakeet eivät paljastu vaan se poistaa ohuesti sementtiliimaa pinnasta ja paljastaa pinnan huokokset. Keskisyvässä puhalluksessa paljastuu puolestaan jo yksittäiset suuret kivirakeet ja pinnan alta paljastuneet huokokset häviävät. Pinnasta tulee betonin ja runkoaineksen muodostama kivimäinen pinta. Syvässä hiekkapuhalluksessa puhallus paljastaa suuret kivirakeet koko pinnalta. Puhallus syö voimakkaammin kohtia, jossa vesidosainesuhde on jäänyt keskimääräistä korkeammaksi. Pinnan värin ja ulkonäön määrittää kiviaineksen koostumus. (BY40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 136.)

TAULUKKO 5. Hiekkapuhallettujen pintojen luokitustaulukko (By 40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 138)

Laatutekijät		Vaatimukset					
		Matala puhallus (M)		Keskisyvä puhallus (K)		Syvä puhallus (S)	
		AA-lk	A-lk	AA-lk	A-lk	AA-lk	A-lk
Nystermä suurin korkeus, h suurin leveys (pisin mitta) suurin määrä	mm	2	3	2	5	3	5
	mm	3	10	5	15	6	15
	kpl/m ²	h ≥ 1 mm 10	h ≥ 2 mm 20	h ≥ 1 mm 10	h ≥ 2 mm 20	h ≥ 1 mm 20	h ≥ 2 mm 40
Syvennys suurin syvyys, h suurin leveys (pisin mitta) suurin määrä	mm	2	6	4	10	6	10
	mm	5	10	10	20	12	20
	kpl/m ²	h ≥ 1 mm 10	h ≥ 3 mm 20	h ≥ 2 mm 10	h ≥ 5 mm 20	h ≥ 3 mm 20	h ≥ 5 mm 40
Hammastus	mm	1	3	2	3	3	4
Valupurse suurin korkeus suurin leveys	mm	1	3	2	3	2	3
	mm	2	5	4	5	4	5
Vaakasuurassa valettujen pintojen huokokset suurin läpimitta suurin kokonaismäärä	mm	Ø ≥ 3	Ø ≥ 3	Ø ≥ 3	Ø ≥ 3		
	mm	5	8	5	8	2)	2)
	kpl/m ²	80	100	80	100	2)	2)
Pystysuurassa valettujen pintojen huokokset suurin läpimitta suurin kokonaismäärä	mm	Ø ≥ 3	Ø ≥ 3	Ø ≥ 3	Ø ≥ 3		
	mm	7	12	7	12	2)	2)
	kpl/m ²	160	200	160	200	2)	2)
Pinnan käyryys ja aaltoilu suurin mittapoikkeama	mm/1,5 m	3	5	4	6	5	7
Väri vaihtelu kaikki pinnat	luokat (liite 5)	A ¹⁾ B	A ¹⁾ B	A ¹⁾ B	A ¹⁾ B	A ¹⁾ B	A ¹⁾ B

- 1) Luokkaa A sovelletaan vain, kun värillisen kiviaineksen kanssa käytetään samansävyistä sidebetonia ja pinnan väri saadaan pääasiassa aikaan kiviaineksella.
2) Työtekniikasta johtuen ei voida mitata.

Happopestyllä eli peitatulla betonipinnalla tarkoitetaan menetelmää, jossa kovettuneesta betonista poistetaan sementtiliimaa laimennetulla suolahapolla. Menetelmän toteuttamiseen on olemassa myös kaupallisia aineita, jotka pesevät pintaa kevyesti. Happopesu poistaa elementin pinnasta hie-noainesta sekä sementtiliimaa paljastaen betonin runkoaineksen. Happopesun syvyyteen vaikutta-avia tekijöitä ovat kiviaineksen laatu, vaikutusaika ja hapon voimakkuus. Pesusyvyys on normaali- listi 0,5 millimetriä, mutta syvyyttä voidaan pienentää tai suurentaa tarvittaessa. Pinnan laadun määrittämiseksi on hyvä tehdä mallikappale. Happopesu soveltuu sinältään jatkokäsitteltäväksi, ku-

ten vaikkapa impregnoitavaksi. Happopesun tuottamaa pintaa voidaan vielä tehostaa hiekkapuhaltamalla pinta. Happestävien kappaleiden koko vaihtelee käytettävän happopesualtaan koon mukaan. (BY40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 140.)

Hakattuja ja murrettuja pintoja käytetään tyypillisesti infraelementeissä julkiselle paikolle näkyville tulevilla elementeissä. Hakatut pinnat ovat erikoispintoja, jotka eivät kuulu elementtitehtaan tavallisiin tuotantomenetelmiin. Pinnan käsittelytapoja on useita. Pinta voidaan tehdä käsin tai koneellisesti. Käsin hakatussa pinnassa betonia hakataan käsin talttamaisella työkalulla. Hakkaus voidaan toteuttaa yhteen tai kahteen eri suuntaan. Tällä on vaikutusta muun muassa siihen, miltä pinta näyttää eri valossa. Koneellisessa hakkauksessa idea on sama kuin käsin hakatussa, mutta pinnasta saadaan yleensä huomattavasti tasaisempi. Isoihin betonipintoihin, kuten tukimuureihin, pintaan voidaan tehdä näyttävä murrettu pinta betoniin upotettujen putkien avulla. Putket täytetään niin sanotulla etanadynamiitilla, joka laajentuessaan murtaa betonin pinnan. Halkaisulla saadaan laajoista pinnoista lohkopintaisia aidon luonnonkiven näköisiä pintoja. Lohkottu pinta kestää hyvin iskuja ja kolhuja. (BY40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021, 148.)

Infraelementit joutuvat usein voimakkaan rasituksen alaiseksi ja niiden käyttöikää halutaan pidentää toteuttamalla betonipinnalle suojaus erilaisia rasituksia vastaan. Tällaisia rasituksia voivat olla muun muassa toistuva jäätyminen ja sulaminen sekä kemiallinen rasitus, jota muodostuu infraelementeille muun muassa tiesuolan eli kalsiumkloridin aiheuttamasta rasituksesta. Impregnointiaine muodostaa betonin huokosrakenteeseen vettä hylkivän pinnan ja se suojaa pintaa ulkopuoliselta kosteudelta, likaantumiselta sekä homesienikasvustolta. (Ote 2023.)

Impregnointiaineita on erilaisia ja aineiden ominaisuudet vaihtelevat käyttötarkoituksen sekä aineen ainesosien myötä. Väyläviraston alaisissa kohteissa käytettävät impregnointiaineiden tulee olla SILKO-hyväksytyjä. SILKO-hyväksynnästä vastaa Väylävirasto ja ajantasainen lista SILKO-hyväksytyistä tuotteista löytyy väyläviraston sivuilta. Vettähylkivä impregnointiaine (H) sisältää silaania, siloksaania tai silikonihartsia. Vettähylkivä impregnointi muodostaa betonin pinnalle avautuvien huokosten seinämiin vettähylkivän kerroksen. Mikäli impregnoinnilta halutaan vedenhylkivyyden lisäksi suojaa elementin pinnalle, on olemassa yhdistelmäainetta, joka muodostaa vettä hylkivän kerroksen lisäksi suojaavan kerroksen. (Väylävirasto 2019, 2.)

Impregnoinnin laadunvarmistuksesta ei tarvitse tehdä betonielementtiteollisuudessa erillistä työ- ja laatusuunnitelmaa, mikäli työnsuoritus on kuvattu hyväksytysti valmistavan tehtaan sisäiseen laatukäsikirjaan FPC:hen ja tilaaja ei sitä erikseen vaadi. Impregnointityön saa suorittaa henkilö, jonka ammattitaito on osoitettavissa työnäytteellä tai aiemmillä referensseillä. Suojattavan pinnan tulee olla puhdas ja kuiva. Useimmat impregnointiaineet edellyttävät sementtiliiman poistamista. Impregnoinnin työn toteutuksen aikaiset olosuhteet on tarkistettava aina valitun aineen vaatimusten mukaan. Impregnoinnin toimivuus ja laatu varmistetaan ennakkokokeella. Ennakkokokeessa mitataan ainemenekki, tunkeutumissyvyys ja veden imeytyminen rakenteeseen. Ennakkokoe-kappale valetaan samalla betonilla: käyttäen samaa muottimateriaalia kuin suojattavan rakenteen valussa. Ennakkokoe-kappale jälkihoidetaan ja esikäsitellään samalla tavalla kuin suojattava rakenneosa. Koekappaleen pinta-alan tulee olla vähintään 0,1 m². Vettähylykivän impregnoinnin laatu varmistetaan tunkeumasyvyyden perusteella. Vedenhylykivyyden varmistetaan suihkuttamalla vettä kappaleen pintaan. Aineen kyllästyksen pinnan väri ei muutu tummemmaksi. (Väylävirasto 2019, 3,5.)

3 TUOTANNON SUUNNITTELU JA -OHJAUS

Tuotannonsuunnittelu on yksi osa yrityksen toiminnanohjausta, johon sisältyy yrityksen tilaustoimitusketjun eri tehtävien ja toimintojen suunnittelua sekä hallintaa. Tuotannonsuunnittelun laajuus vaihtelee yrityksen toimintatapojen mukaisesti. Tuotannonsuunnittelua tehdään yrityksen sisällä useassa eri portaassa ja sen taso jakautuu portaan mukaan. Ylemmillä tasoilla ei tehdä yksityiskohtaista suunnittelua. Ylemmän tason suunnittelussa pyritään laaja-alaisesti varmistamaan resurssien saatavuus. Tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus tarkentuvat yksityiskohtaisemmaksi siirryttäessä lähemmäksi matalampaa porrasta ja varsinaisen työn toteutusta. (Haverila, Kouri, Miettinen & Uusi-Rauva 2005,409.)

Toiminnanohjauksella tarkoitetaan isossa kuvassa yrityksen koko toimintasektoria. Toiminnanohjaus kattaa yleisesti kaikki yrityksen ydintoiminnot. Toiminnanohjaukseen liittyvät yrityksen arvopohja, toimintatavat, henkilöstö, asiakkaat, talouden hallinta ja muut vastaavat isot kokonaisuudet. (Fikuro 2023.)

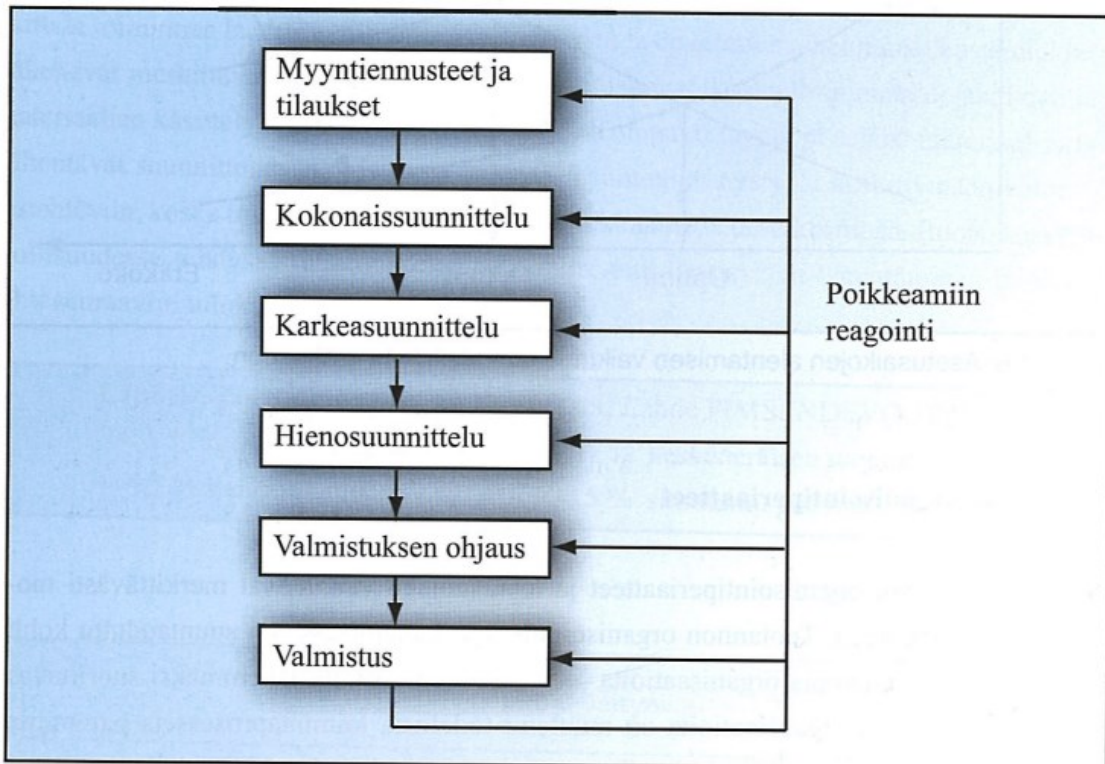
Tuotannonsuunnittelun päätarkoituksena on yhdistää yrityksen johdon, projektinhallinnan, myynnin sekä tuotannon osa-alueet. Tuotannonsuunnittelulla tarkoitetaan tuotannon sekä sen vaatimien työresurssien, materiaalin ja aikataulujen suunnittelua yleisellä tasolla kysyntää vastaavaksi. (Sipper & Buffin 1997, 319.)

Tuotannonohjaus puolestaan keskittyy avaintekijöiden ympärille: mitä valmistetaan, miten valmistetaan, mitä resursseja valmistus vaatii ja missä aikataulussa valmistus toteutetaan. Tuotannonohjaus kattaa toiminnanohjauksen tasot myynnistä valmiin tuotteen toimitukseen. Myynti antaa tuotannolle signaalin tällaiseen asiakkaan tilaustarpeeseen tulisi vastata ja tuotannonohjauksen vastuulle jää huolehtia tuotteiden tehokkaasta valmistuksesta ja niiden toimittamisesta asiakkaalle. Toimiva tuotannonohjaus mahdollistaa tuotannonsuunnittelemisen ja optimoinnin. Tuotanto tulisi suunnitella riittävän tarkalla tasolla tuotannonohjauksessa. Yksi malli tuotannonohjaukselle on rakennetuotemalli. Valmistettavalle tuotteelle määritellään resepti, materiaalit, työvaiheet ja niiden järjestys sekä työvaiheiden vaatimien resurssien tarve kussakin vaiheessa. Useista rakennetuotteista muodostetaan tuotannonohjausjärjestelmään työjono. Työjonoa voidaan mukauttaa eli opti-

moida tilanteen mukaan ja optimoinnilla varmistetaan tuotannon kulku johdonmukaisesti ja tehokkaasti. Tuotannonohjausjärjestelmä kerää tietoa tuotannon tarpeista ja tuotannon etenemisestä. Toimiva tuotannonohjausjärjestelmä pystyy ennustamaan, missä kohdassa tuotanto saattaa ruuhkautua, missä kohdassa materiaalin tai henkilöstön puute voi riskeerata tuotannon. Tuotannonohjausjärjestelmällä voidaan siis ennakoita mahdollisia tuotannon haasteita. Tuotannonohjausjärjestelmän avulla voidaan myös tehostaa tuotantoa ohjaamalla ja kohdistamalla resursseja tehokkaammin sen tuottaman datan pohjalta. (Fikuro 2023.)

3.1 Tuotannonsuunnittelu prosessina

Yleisessä tuotannon ohjausprosessissa vaiheet voidaan jaotella kuvan 5 mukaisesti. Kuvan viisi vaiheet voidaan jaotella karkeasti eri vastuualueille. Myyntiennusteet ja tilaukset kuuluvat ylemmän johdon ja myynnin tehtäviksi. Kokonaissuunnittelu puolestaan ylimmän johdon sekä projektinhallinnan vastuulle. Tuotannon vastuulle jakautuu kuvan alemmat vaiheet karkeasuunnittelusta-valmistukseen. Tuotannonsuunnittelussa on aina varauduttava muutoksiin ja sitä kautta uudelleensuunnitteluun. Muutokset vaikuttavat ketjussa eri asteilla. Uudelleensuunnittelun ja koordinoinnin määrä kasvaa, mitä yksilöllisemmällä tasolla suunnitelmat tehtävästä suorituksesta ovat. Tuotantoon aiheuttavia häiriöitä voi olla esimerkiksi suunnitelmien muutokset, suunnitelmien myöhästykset, materiaali puutteet, henkilöstöresurssien puute, tuotantohäiriöt tai laiteviat. Nämä aiheuttavat luonnollisesti poikkeamia tuotannonsuunnittelun ja -ohjausketjun eri portaille ja toimijoiden välille. (Haverila ym.2005,409.)



KUVA 5. Tuotannonohjausprosessi (Teollisuustalous, 409)

Kokonaissuunnittelulla tarkoitetaan ylimmän tason suunnittelua. Ylimmän tason suunnittelussa tehdään tuotannon kokonaisvolyymia ja yrityksen taloutta koskevat suunnitelmat. Kokonaissuunnittelun tärkeimpiä tehtäviä ovat vuotuisen budjetin määrittäminen, tarjoustoiminnan ohjaus, kapasiteettitarpeiden määrittäminen, tilauskannan ennustus, strategiset tavoitteet sekä yrityksen materiaaliressurssien hallinta. Yrityksen ylimmän tason suunnittelulla on iso merkitys, mikäli yritys meinaa toteuttaa tuotantoa tuottavasti ja tehokkaasti. Ennusteilla on iso painoarvo ylimmän tason suunnittelussa, koska menekin muutokset ovat nopeampi kuin yrityksen tuotantoprosessin reagointi-aika muutoksiin. Ennustevirheet saattavat aiheuttaa yritykselle isoja ongelmia. Äärimmäisissä tapauksissa yritys voi joutua lomauttamaan tai irtisanomaan työntekijöitä. Tämä aiheuttaa yritykselle henkisiä ja taloudellisia tappioita, mutta niiden avulla yritys pystyy sopeuttamaan kapasiteettiaan ja parantamaan selviytymiskykyä markkinoilla pitkällä aikajänteellä. Useat yritykset pyrkivät vähentämään ennusteiden virhemarginaalia kehittämällä tuotannon joustavuutta ja reagoitokykyä. (Haverila ym.2005, 409–412.)

Tuotannosuunnittelun toinen pääporras on karkeasuunnittelu. Karkeasuunnittelu on kokonaisvaltaisempaa ja tarkempaa suunnittelua kuin kokonaissuunnittelu. Karkeasuunnittelua tehdään tavallisesti parin viikon aikavälillä. Karkeasuunnittelun pohjatietona toimii yrityksen tilauskanta ja valmistusbudjetin asettamat tavoitteet. Karkeasuunnittelu voidaan jakaa kahteen päätehtävään: resurssien käytön yleissuunnitteluun ja toimituskyvyn määrittelyyn. (Haverila ym. 2005, 415–416.)

Resurssien käytön yleissuunnittelussa suunnitellaan tuotannon vaatimat resurssit sekä tehdään suunnitelma yleisellä tasolla resurssien käytöstä. Karkeasuunnittelussa tehdään päätöksiä henkilökapasiteetin lisäyksistä tai vähennyksistä. Samalla pohditaan muiden resurssien, kuten materiaalien, koneiden sekä laitteiden riittävyyttä ja saatavuutta. (Haverila ym. 2005, 415–416.)

Toinen karkeasuunnittelun päätehtävä on toimituskyvyn määrittely. Toimituskyvyn määrittelyssä pyritään hallitsemaan yrityksen toimitusvarmuutta. Toimitusvarmuus liittyy vahvasti resurssien käytön suunnitteluun. Resurssien käytön suunnittelussa joudutaan miettimään kuormituspiikin kohdalla, miten toimitusvarmuus ja sovitut aikataulut säilytetään. Toimitusvarmuuden takaamiseksi kovan kuormituksen aikana henkilöstömäärää voidaan lisätä ja työkuormaa voidaan kuroa umpeen ylitöiden avulla, jotta toimituskyky säilyy. Asiakasohjautuvassa tuotannossa toimitusaikojen pitävyys ja sitä kautta karkeasuunnittelun merkitys korostuu. (Haverila, Kouri, Miettinen & Uusi-Rauva 2005, 415–416.)

Karkeasuunnittelussa tärkeä parametri on valmistuskapasiteetti. Valmistuskapasiteetillä tarkoitetaan sitä, millä tasolla tehdas kykenee valmistamaan tuotteita. Alustava tuotantosuunnitelma laaditaan valmistuskapasiteettiin sekä tilausmääriin pohjautuen ja sen pohjalta ylläpidetään yleisen tason kuormitussuunnitelmaa eli karkeakuormitusta. Karkeakuormitus kertoo yleensä tilauksien vaatiman valmistuskapasiteetin tarpeen. Karkeakuormituksen perusteella voidaan suunnitella alustavia tuotanto- ja toimitusaikatauluja. Karkeasuunnittelun pohjalta ei kuitenkaan yleensä ohjata vielä tuotantoa. (Haverila ym. 2005, 416.)

Kun tilauspohjaisessa tuotannossa määritellään karkeakuormitusta kaiken lähtökohtana, on määritetty työaikamenekki. Työaikamenekillä tarkoitetaan aikaa, jonka tietyn työvaiheen toteutus vaatii. Menekkitietojen pohjalta voidaan siis tarkastaa suunniteltavan työkokonaisuuden kesto, tarvittavan työryhmän koko ja työnsaavutus. Oikein määritetyillä menekkitiedoilla voidaan varmistaa, että tar-

vittavat resurssit ovat käytettävissä ja niiden pohjalta voidaan laatia realistinen tavoitteellinen toteutusaikataulu. Samalla voidaan varmistaa työvaiheiden tahdistus ja sujuva eteneminen työvaiheiden välillä, siten ettei turhaa odottelua ja töiden päällekkäisyyttä syntyisi. Menekkitietojen perusteella voidaan myös vertailla eri työmenetelmien ja tuotantotapojen vaikutusta työkokonaisuuden kestoon ja kustannuksiin. Yritys voi määrittää myös omat menekkitiedot, mikäli yrityksellä on riittävän laaja ja luotettava toteumatietopohja vastaavanlaisten työkokonaisuuksien suorittamisesta. Mikäli yrityksellä ei ole toteumatietopohjaa menekeistä, avuksi on laadittu RT-kortiston toimesta Rakennustöiden menekit -kirja. Kirjassa esitetään suuntaa antavia työaikamenekkejä erilaisille rakennustöiden vaiheille. Kirjassa ilmoitetut työaikamenekit ovat työvuoroaikoja eli T3-aikoja. T3-työvuoroajalla tarkoitetaan tavoitteellista työmenekkiä, joka ei pidä sisällään mahdollisia häiriöitä ja keskeytyksiä. Työvuoroajat voidaan kuitenkin muuntaa kokonaisajaksi eli T4-ajaksi kertomalla T3-aika työvaihekohtaisella TL3-lisäaikakertoimella. T4-kokonaisaika eli työnvaihe aika sisältää kaikki työhön käytetyt tunnit sisältäen työn keskeytykset. Kuvassa 6 on kuvattuna, mistä eri osa-alueista ajankäytön käsitteet koostuvat. (Rakennustöiden menekit 2020, 8–10)

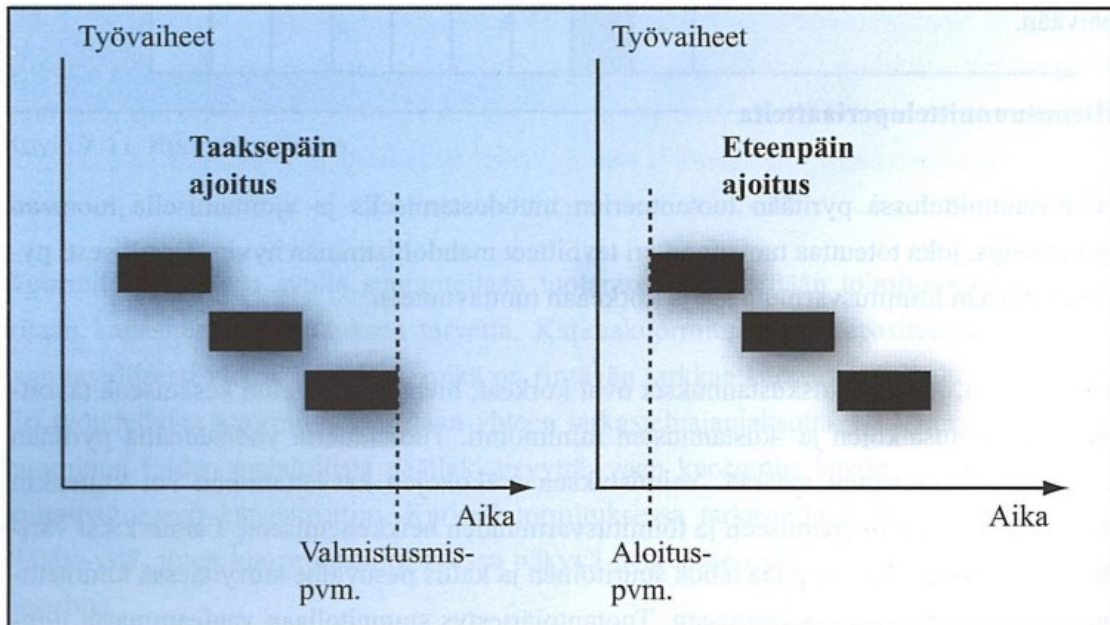
Perusaika T1	Menetelmän lisäaika TL1	Työvuoron lisäaika TL2 Alle 1,0 tunnin keskeytykset	Pelivarat TL3-aika
Menetelmäaika T2			
Tehollinen aika (työvuoroaika) T3		Pienet erilliset työvaiheet (T3p) ja työehtosopi- muksen mu- kaiset tauot	
Kokonaisaika (työnvaihe aika) T4			

KUVA 6. Ajankäytön käsitteet (Rakennustöiden menekit, 8)

Hienosuunnittelun päätehtävänä on valmistuksen yksityiskohtainen suunnittelu. Hienosuunnittelusta syntyvä dokumentti on tarkka tuotantosuunnitelma, jonka perusteella tuotantoa ohjataan ja lopulliset tuotteet valmistetaan. Hienosuunnittelun lähtökohtana toimii karkeasuunnittelussa tehty alustava tuotantoerien karkea aikataulutus. Hienosuunnittelussa mietitään tarkat tuotantoerät, suunnitellaan eri työvaiheiden ajoitukset sekä laaditaan tarkka suunnitelma resurssien käytöstä.

Tuotantoerissä pyritään toteuttamaan samankaltaiset tuotteet sarjatuotantona tuotannon tehostamiseksi. Työvaiheiden aikatauluttaminen vaatii valmistettavan tuotteen eri työvaiheiden ja vaiheajojen tuntemista. Tarkan tuotantosuunnitelman laadinnassa on tiedettävä tuotannon tilanne. Tuotantosuunnitelmassa on pyrittävä huomioimaan mahdolliset työjonot, tuotantosuunnitelmien jättämät sekä mahdolliset tuotantohäiriöt. Hienosuunnitteluvaiheessa pyritään ennalta ehkäisemään niin sanotut pullonkaulatyyövaiheet. Pullonkaulatyyövaiheella tarkoitetaan työvaihetta, joka hidastaa toista työvaihetta tai jopa estää toisen työvaiheen suorittamisen. Tällaisia työvaiheita voi olla betonielementtien valmistuksessa muun muassa tilanne, jossa muotti ei ole vielä valmis, mutta raudoittamossa raudoite on jo valmiina. Hienosuunnitteluvaihe on lyhyen aikajänteen suunnittelua pääsääntöisesti viikosta yhteen päivään. Hienosuunnitteluvaiheessa on varauduttava erilaisiin muutos- ja häiriötilanteeseen. Niihin varautuminen järjestelmällisesti edesauttaa alkuperäisessä tuotantosuunnitelmassa pysymistä. (Haverila ym. 2005, 417–419.)

Tuotannonajoitusta tehdään siis karkeasuunnittelu- ja hienosuunnitteluvaiheissa, mutta hieman eri tarkkuudella. Ajoitus perustuu työmenekkien laskentaan, joten niiden oikeellisuus korostuu. Työmenekkien perusteella lasketaan, kuinka pitkän ajan mikäkin vaihe vie tuotannosta. Esimerkiksi, jos betonielementin valmistus vaatii 120 tuntia ja tuotannon henkilöstöresursseja on käytössä elementille 40 h/vuorokausi, tuotannon vaatima aika on 3 vuorokautta. Tuotannonohjausjärjestelmissä käytetään yleensä taaksepäinajoitusta. Taaksepäinajoituksessa lähdetään miettimään valmistuspäivästä taaksepäin kuinka paljon aikaa valmistus vie. Vastaavasti voidaan käyttää eteenpäinajoitusta, jossa mietitään, kuinka kauan tuotannon aloituksesta menee aikaa tuotteen valmistamiseen. Kuvassa 7 on esitettyä tuotannonsuunnittelun ajoitusmallit kuvaajassa.



KUVA 7. Taaksepäin ja eteenpäin ajoitus kuvattuna (Teollisuustalous, 419)

Näiden molempien ajoitusmenetelmien heikkoutena on, että ne eivät ota huomioon muita samaan aikaan ajoitettuja tuotantoeräiä. Näin ollen täytyy kyetä seuraamaan myös yhteenlaskettua kokonaistuotantovolyyymiä, joka muodostuu useista ajoitetuista tuotantoeristä muodostaen valitulla olevan aikavälin tuotannon. (Haverila ym. 2005, 419–420.)

Tuotantoa voidaan optimoida tietokonepohjaisella optimoinnilla. Tietokoneohjelmistot perustuvat erilaisiin matemaattisiin algoritmeihin, joiden avulla ratkaistaan tuotannosuunnittelun ongelmat teoreettisella tasolla. Useimmiten ohjelmistoja käytetäänkin tukemaan tuotannosuunnittelijan päätöksiä. Ohjelmistojen avulla voidaan nopeasti tarjota tuotannosuunnittelijalle eri ratkaisumahdollisuuksia ja niillä saavutettavia tuloksia. Niiden pohjalta tuotannosuunnittelija voi muodostaa oman päätöksen tuotannon toteuttamisesta. Matemaattinen algoritmipohjainen ohjelmisto voi nostaa esiin sellaisia seikkoja, joita tuotannosuunnittelija ei välttämättä itse huomaisi. Ohjelmisto ei kuitenkaan ota kaikkia seikkoja huomioon, joten tuotannosuunnittelijan omat valinnat korostuvat. Optimointi vaatii kuitenkin tarkkoja taustatietoja ja niiden aktiivista ylläpitämistä. (Haverila ym. 2005, 421–422.)

Tuotantosuunnitteluprosessin viimeinen vaihe ennen varsinaista tuotantoa on valmistuksen ohjaus. Valmistuksen ohjauksen päätehtäviä ovat työn suorittamisen yksityiskohtainen suunnittelu, työtehtävien jakelu, työtehtävien ohjaaminen, valvonta sekä raportointi. Valmistuksen ohjauksen laajuuteen ja vaikeustasoon vaikuttavat suuresti työtehtävien toistuvuus ja yrityksen layout. Yksittäisinä kappaleina valmistettavat tilaustuotteet vaativat paljon enemmän tuotannonohjausta kuin vakio- tuotteiden valmistus. Valmistuksen ohjaus perustuu usein erilaisiin työmääriin. Työmääräimellä tarkoitetaan suoritettavaa työvaihetta. Työmääräimessä voi olla liitteenä elementtipiirustus, työohjeet, laatudokumentit sekä tarvittaessa työvaiheessa käytettävät työkalut. Työmääräimestä voidaan käyttää myös nimitystä työvaihekortti. Työnjohdon tehtävänä on laittaa työvaihekortit siihen järjestykseen, jossa tehtävät halutaan suoritettavan. Työvaihekortit muodostavat työjonon, jonka purkautumisen täytyisi tapahtua hallitusti tuotantosuunnitelman mukaisesti. Tuotannon ohjauksen on kuitenkin varauduttava mahdollisiin ongelmatilanteisiin ja ratkaistava ne mahdollisimman nopeasti. (Haverila ym. 2005, 425–426.)

Toimiva tuotannosuunnittelu edellyttää karkea- ja hienosuunnitteluvaiheessa toteutuneiden tapahtumien raportointia. Raportoinnin perusteella voidaan seurata tuotannon tuottavuutta, läpäisy-aikoja sekä eri vaiheiden vaatimia työpanoksia. Raportoinnin perusteella voidaan päivittää kuormitustietoja ja hallita ajoituksen toteutumista. Toteumatietoja voidaan päivittää työnjohdon tai työntekijöiden toimesta. Lukujen päivittäminen käsin järjestelmään on virhealtista ja se koetaan monesti ylimääräisenä työvaiheena. Helpompi vaihtoehto datan saamiseksi on raportointitietojen kerääminen työpistekohtaisten viivakoodien avulla. (Haverila ym. 2005, 425–426.)

3.2 Tuotannosuunnittelu ja -ohjaus Parmassa

Parmassa tuotannosuunnittelua toteutetaan monella asteella aina ylimmästä johdosta tuotantoon. Yrityksen ylin johto seuraa markkinatilannetta ja ennusteita, joiden avulla määritetään käytettävissä olevat resurssit. Ylin johto ohjaa täten koko yrityksen toimintaa tekemällä tuotannosuunnittelua ennusteiden ja myynnin ohjauksen osalta. Ylin johto valvoo myös tehtaiden tuotannon tehokkuutta ja volyyimia. Ylimmän johdon vastuukokonaisuuteen kuuluu vastuu toiminnan laajapiirteisestä kokonaissuunnittelusta. Ylin johto on viime kädessä vastuussa koko yrityksen tuloksesta.

Ylimmästä johdosta tuotannosuunnittelu jalkautuu myyntiin. Myynti kartoittaa, laskee sekä tarjoaa erilaisia kohteita. Tässä vaiheessa tuotannosuunnittelua tehdään karkeasuunnittelun tasolla. Myynti laskee tarjouskuvien perusteella materiaalimenekin sekä työmenekin. Työmenekin arvioinnissa myynti tekee tarvittaessa yhteistyötä valmistavan tehtaan henkilöstön kanssa. Yhteistyötä tarvitaan varsinkin silloin, kun kohde ei ole niin kutsuttua perustuotantoa vaan kohteessa toteutetaan uudenlaista tuotetyyppiä, sen toteuttaminen sisältää erikoistyömenetelmiä tai se sisältää paljon erikoisasiaa. Työmenekkien arvioinnissa tehdastasolla tuotannon henkilöstö alkaa miettimään kohteen toteutustapaa, tuotantoaikataulua ja sen erityispiirteitä. Valmistavan tehtaan näkemys tarjoaa arvokasta asiantuntemusta valmistuksesta tarjouslaskijalle. Perekdyttyään huolellisesti tarjousaineistoon myynti jättää kohteesta tarjouksen asiakkaalle.

Kun myynti onnistuu saamaan kohteen kaupaksi, kauppa siirtyy projektin hallinnalle. Projektin hallinnasta vastaa ensisijaisesti projektipäällikkö. Projektipäällikkö toimii avainhenkilönä asiakkaan suuntaan ja osallistuu täten projektin aloituspalaveriin. Projektipäällikkö syöttää kohteen perustiedot järjestelmään. Perustietojen pohjalta projektipäällikkö luo alustavan tuotanto- ja toimitusaikataulun sekä kohteen lohkojaon järjestelmään. Projektipäällikön osuus tuotannosuunnitteluprosessissa on suuri. Projektipäällikön vastuu jatkuu aina karkeasuunnittelun tasolta valmiin tuotteen toimitukseen saakka. Karkeasuunnitteluun ja projektinhallintaan osallistuu vahvasti valmistavan tehtaan osalta tehdaspäällikkö. Tehdaspäällikkö vastaa valmistavan tehtaan kokonaistuotannosta, johon kuuluu oleellisesti karkeasuunnitteluvaiheen päätehtävät eli resurssien käytön suunnittelu ja toimituskyvyn varmistus.

Kun kohteesta on saatu valmistuskuvat ja kohteen perustiedot ovat lisättyinä järjestelmään tuotannonsuunnittelija alkaa toteuttamaan omaa työtään tuotannonsuunnitteluprosessissa. Tuotannonsuunnittelija tekee merkittävän osan hienosuunnittelusta. Tuotantokuvien pohjalta tuotannonsuunnittelija syöttää valmistettavien elementtien mittatiedot sekä materiaalitiedot järjestelmään elementtikohtaisesti. Tietojen syöttämisen jälkeen tuotannonsuunnittelijalla on tiedossa kohteen materiaali- ja työmenekit. Tässä vaiheessa tuotannonsuunnitteluketjuun osallistuu tuotantoa ohjaava työnjohtaja. Tuotannonsuunnittelija ja työnjohtaja käyvät läpi kohteen valmistuksen perustiedot. Elementtien tietojen pohjalta tuotannon toimihenkilöt suunnittelevat yhdessä kohteen tuotannon toteutusta. Tuotannon toteutus suunnitellaan useimmiten alustavan aikataulun ja asennusjärjestyksen mukaisesti. Elementtien valmistusjärjestys luodaan tuotantojärjestelmään eli elementit lisätään valuohjelmille. Valuohjelmille lisääminen tuottaa tuotantojärjestelmässä hienokuormituskäyrästä. Hienokuormituskäyrästä nähdään elementtien tuottama työnkuormittavuus. Valuohjelmien teon jälkeen lopputuloksena on kohteen alustava tuotantosuunnitelma. Tuotantosuunnitelman perusteella tuotannonsuunnittelija osaa tilata oikean määrän tavaraa tehtaalte oikeaan aikaan. Työnjohtajan päätehtäväksi jää aikataulutaa ja suunnitella yksittäiset työvaiheet, joita ovat muottityöt, raudoitus, betonointi, viimeistely ja varastointi. Työnjohtajan vastuualueelle kuuluu täten osittain hienosuunnittelu, mutta työnjohto on pääasiallisessa vastuussa tuotannon ohjauksesta ja valmistuksesta. Työnjohto johtaa aktiivisesti päivittäistä tuotantoa, tarkkaillen tuotannon sujuvuutta, laatua sekä työturvallisuutta. Työnjohto tekee suunnitelmiin tarvittaessa muutoksia ja vastaa näin ollen myös tuotantosuunnitelman optimoinnista.

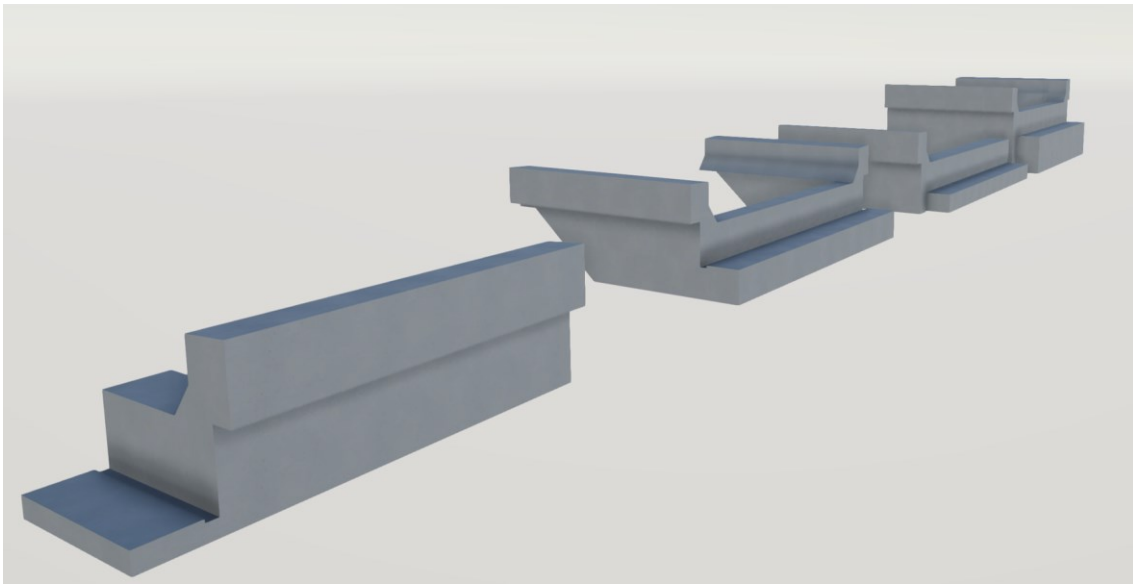
Valmistetun ja toimitetun elementtikohteen jälkeen vuorossa on loppuraportointi. Loppuraportointia varten tuotannonohjauksessa tehdään valmistelevia toimenpiteitä. Valmistavalla tehtaalla seurataan aktiivisesti päivittäisen tuotannon tuottavuutta sekä viikoittaista tuottavuutta. Tuottavuuden seurannassa apuna on tuntikirjausjärjestelmä, jossa työntekijät leimaavat itsensä viivakoodin avulla tietylle projektille ja tuotetyypille. Näiden pohjalta saadaan tuotetyyppikohtaisesti toteutuneet työmenekit. Nämä tuntien toteumatiedot työnjohtaja kirjaa ylös Excel-taulukkoon, jossa toteutuneita työtunteja verrataan tuotetyyppikohtaisesti tuotantosuunnitelman myytyihin tunteihin. Edeltäneen päivän tuotannon tehokkuus käydään läpi päivittäisen johtamisen palaverissa. Mahdollisiin poikkeamiin tehokkuusluvussa etsitään juurisyyt, miksi tehokkuus on ollut hyvää tai huonoa. Tuottavuuden lukemia raportoi eteenpäin viikoittain valmistavan tehtaan tehdaspäällikkö. Tuottavuuden lukemat käydään läpi yrityksen ylimmässä johdossa. Karkeakuormitus- ja hienokuormituskäyrät

päivittyvät automaattisesti, kun tuotantosuunnitelmaa päivitetään tuotannosuunnittelujärjestelmässä.

Kohteen toimituksen jälkeen projektipäällikkö sekä kohteen myynyt henkilö tekevät kohteen taloudellisen loppuselvityksen. Loppuselvityksessä kohteen toteumatietojen pohjalta kootaan talouden osalta raportti, jota verrataan kohteen tarjoustietoihin sekä tehtyyn sopimukseen. Toteumatietoja ovat muun muassa projektille muodostuneet työ- ja materiaalikustannukset. Taloudellisen raportin pohjalta kohdetta lähdetään käymään asiakkaan kanssa läpi ja siellä asiakas voi esittää omia vaateitaan, mikäli sellaisia on noussut esille. Tällaisia vaateita voivat olla muun muassa toimitusten viivästykset, sopimusrikkeet tai laadulliset ongelmat. Toimittajalla eli Parmalla voi olla myös asiakkaalta vaatimuksia. Vaatimukset voivat koskea esimerkiksi: tarjoussisällön muutoksia, aikataulumuutoksia tilaajan toimesta, lisä- ja muutostöitä tai sopimuksessa erikseen mainittavia lisälaskutettavia kuluja. Taloudellisen loppuselvityksen jälkeen kohde on tuotantoprosessin osalta ohi. Lopullinen vastuu valmisosatoimituksesta jatkuu kuitenkin aina takuuajan loppuun saakka.

4 CASE-ESIMERKKIKOHDE LAURILA–ROVANIEMI-RATASILTAELEMENTIT

Laurila–Rovaniemi-ratasillatbetonielementtikohde toteutettiin Parma Oy:n Korvenkylän tehtaalla kesällä 2023. Kohteen toimitussisältöön kuului 30 teräsbetonista infraelementtiä. Elementit koostuivat kuudesta eri ratasillasta. Kohteeseen toimitettiin 14 sillankansielementtiä, 10 maatukielementtiä, 4 siipimuurielementtiä ja kaksi palkkielementtiä. Kohteen elementtien pituus, koko ja malli vaihtelivat siltapaikkojen välillä. Kuvassa 8 on mallinnettuna Tekla Structures-ohjelmalla kohteen erilaiset maatukielementtien tyyppielementit. Kuvassa etualalla on yksi siipimuurielementtimalli ja taustalla näkyy kolme erilaista maatukielementtienmallia. Laurila–Rovaniemi-siltaelementit olivat Korvenkylän tehtaan historian ensimmäinen siltaelementtikohde. Vastaavanlaisista toteutuksista ei löytynyt aiempaa vertailukohdetta Consolis Parman historiasta.

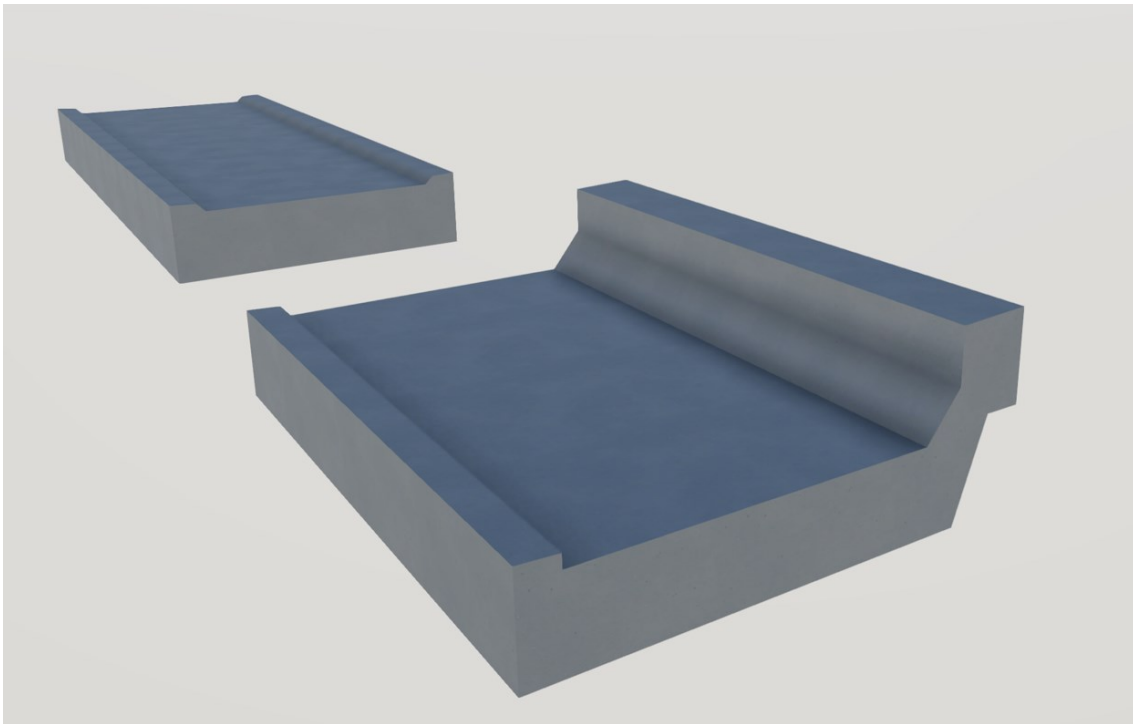


KUVA 8. Sillan tukirakenteiden mallikuvat (Otto Brandt, Tekla Structures 2024)

Case-esimerkkikohdetta tarkasteltiin työssä tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen näkökulmasta. Case-esimerkin yhteydessä käsitellään siltarakentamiskohteen erityispiirteitä, kuten erilaisia varusteluosia, betonipinnan jälkikäsittelyä sekä maadoitusten toteutusta. Tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen toimivuutta tarkasteltiin työssä isojen päätyövaihekokonaisuuksien avulla. Opinnäytetyössä laskettiin auki kohteen tarjouslaskennan laskemat työmenekit muottityölle, raudoitukselle,

varustelulle ja valutyölle. Vertailukohdaksi laskettiin määrätietojen pohjalta Excel-taulukkolaskennalla työaikamenekit vastaaville työvaiheille. Työmenekkien lähtökohtana käytettiin Rakennustöiden menekit 2021-kirjan taulukkoarvoja. Tarjouslaskennan sekä RT-kortiston avulla toteutetun taulukkolaskennan tuloksia vertailtiin kohteen aikana kerättyihin toteumatietoihin eri päätyövaiheiden tuntimenekeistä.

Kuvassa 9 näkyy mallinnettuna siltaelementtien mallityypit. Etualalla kuvassa on reunapalkillinen siltaelementti ja takana reunapalkiton siltaelementti. Siltaelementtien pituus ja korkeus vaihtelivat eri siltojen välillä. Lisäksi kahdessa siltapaikassa sillan pohja oli kaareva. Mallikuviin ei ole mallinnettu elementeissä olleita varusteluosia.



KUVA 9. Sillan kansielementtien mallikuvat (Otto Brandt, Tekla Structures 2024)

4.1 Muottityö

Kohteen muottityöt toteutettiin kappaletavarasta rakennettavin puumuotein. Kappaletavarasta valmistettava muotti on tehtaalla yleinen toimintatapa. Kappaletavarasta valmistettavan muotin etu on sen muunneltavuus ja soveltavuus monimuotoisillekin kappaleille. Kappaletavarasta valmistettavan puumuotin heikkous on se, että se vaatii paljon työresursseja. Puumuotien lisäksi tehtaalla on vakiomuottikaluston eri korkuisia teräksisiä muottilaitoja. Teräksisten muottilaitojen heikkoutena on käsiteltävyys sekä niiden huono sovellettavuus monimuotoisissa kappaleissa.

Tämän kohteen puumuottien toteutus suunniteltiin yhdessä muottikirvesmiesten sekä työnjohdon kanssa. Kohteen muottitöiden työmäärää lisäsivät erimuotoiset kappaleet ja kohteen sarjatuotannon toteutuksen haastavuus. Muottityön ajallinen tuotannosuunnittelu oli haastavaa, koska saatavilla ei ollut vertailumenekkiä aiemmin toteutetusta vastaavasta kohteesta. Tuotannosuunnitteluprosessissa myynti kysyi työmenekkiarviota valmistavalta tehtaalta sillankansielementtien osalta. Tässä vaiheessa valmistava tehdas kommentoi muottityön työmenekkiä sillankansielementtien osalta yhden kuvan perusteella. Tehdas ei siis kommentoinut koko toimitussisältöä, joka koostui sillankansien lisäksi myös maatumurielementeistä, siipimurielementeistä ja palkkielementeistä.

Tuotannosuunnitteluprosessin kannalta on tärkeää, että valmistettava kohde käsitellään kokonaisuutena. Kokonaisuudella on vaikutusta kokonaistyömenekkiin varsinkin muottitöiden osalta. Muottityön työmenekkiä arvioidessa tulee ottaa huomioon muotin toteutustapa, kappaleen monimuotoisuus, sarjatuotannon mahdollisuus ja mahdollinen muottimuutosten toteutus sarjatuotannossa.

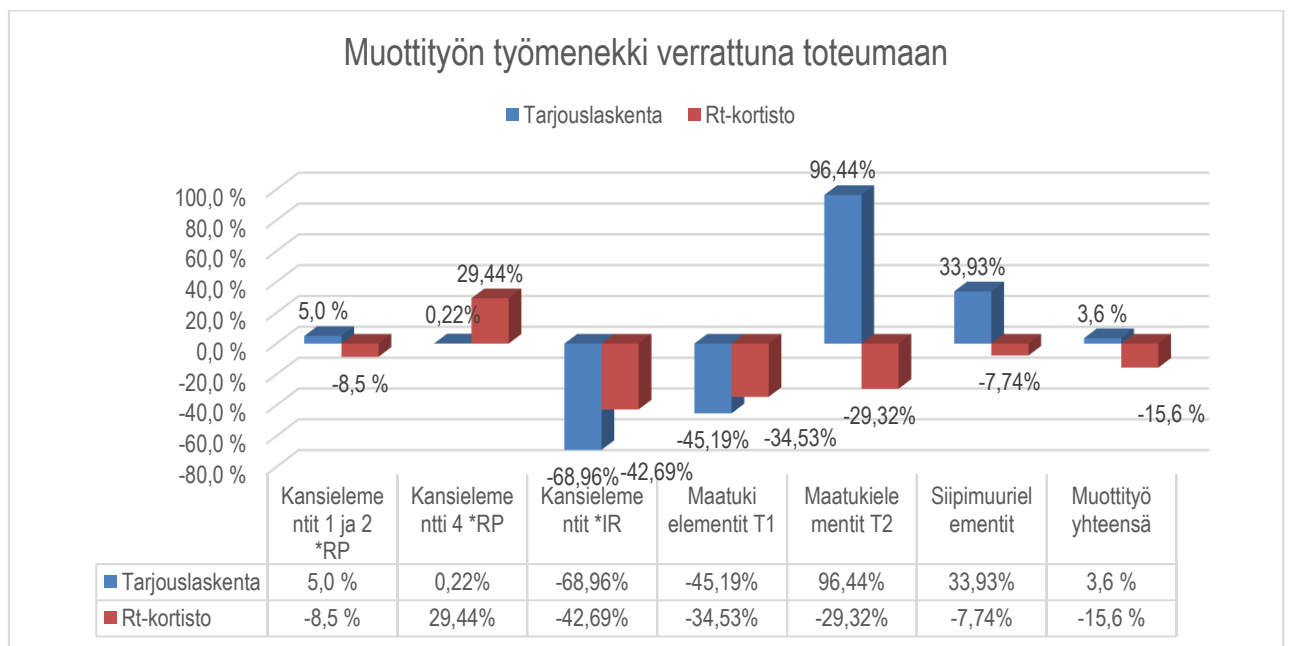
Muottitöiden kokonaisuus jouduttiin tehtaalla suunnittelemaan toimitusaikataulujen pohjalta. Tuotannosuunnittelun ja toimitusajankohdan välillä ei ollut aikaa suunnitella tuotantoa siten, miten se olisi ollut järkevintä toteuttaa muotillisesti. Tuotannon suunnittelun kannalta optimaalista on, että tuotanto voitaisiin suunnitella muottityön asettamassa järjestyksessä. Muottityön järjestyksen suunnittelu vaatii huolellista perehtymistä elementtipiirustuksiin ja tuotannosuunnittelijan ammattitaitoa löytää kuvasta erilaiset seikat, jotka vaikuttavat muotin toteutukseen. Muotin toteutukseen vaikuttavat oleellisesti valmistettavan kappaleen profiili ja mahdolliset varusteluosat. Kappaleen profiililla tarkoitetaan kappaleen muotoa ja sen geometrisiä mittoja (pituus, leveys ja korkeus). Varusteluosien määrä ja sijainti vaikuttavat merkittävästi muotin toteutukseen. Varusteluosia varten muottiin saatetaan joutua poraamaan reikiä tai niiden kiinnitystä varten varusteluosille täytyy toteuttaa

muottiin vastakappale, jonka avulla varusteluosa pysyy valun aikana suorassa. Erityistä haastetta tuovat varsinkin elementin pohjasta ulos tulevat varusteluosat. Elementin pohjasta tulevat varusteluosat tarkoittavat yleensä sitä, että elementin pohjaa täytyy korottaa.

Laadullisesti muottitöiden toteutuksessa ei havaittu ongelmia projektin aikana. Muotit kestivät valupaineen ja muotit oli valmistettu mittatarkasti elementtipiirustusten toleranssien mukaisesti. Elementtien valupinnat täyttivät pintojen laatuluokitukset.

Kohteen eri työvaiheita käsiteltäessä tarkasteltiin tarjouslaskennan ilmoittamia työmenekkejä eri tuotetyyppien työvaiheille. Vertailukohtaa työaikameneille haettiin hyödyntäen RT-kortiston yleisiä työaikamenekejä ja laskemalla määrätietojen avulla vertailutyömenekit työvaiheille. Tarjouslaskennan ja RT-kortiston pohjalta laskettuja työmenekkejä verrattiin kohteesta kerättyihin työmenekin toteumatietoihin. Taulukossa 6 esitetystä muottityön työmenekistä suhteessa toteumaan voidaan tulkita useita eri seikkoja.

TAULUKKO 6. Muottityön työmenekki tuotetyypeittäin verrattuna toteumaan



Pylväsdiagrammi kertoo toteuman suhdetta laskettuna työmenekkiin. Toteutuneilla työtunneilla on siis suuri vaikutus pylväsdiagrammin muodostumisessa. Miinusmerkkinen tulos tarkoittaa sitä, että

toteutuneet tunnit alittivat lasketut tunnit. Plusmerkkinen tulos tarkoittaa, että laskettu toteuma ylitti lasketun työmenekin.

Muottityön osalta työmenekkien arviointi tarjouslaskennassa oli onnistunut eli muottityön määrä oli kokonaisuutena arvioitu lähelle toteutunutta työmenekkiä. RT-kortiston avulla laskettujen työaikojen pohjalta muottityön määrässä päästiin lähes samoihin lukemiin kuin tarjouslaskennassa. Diagrammista poikkeamina voidaan poimia kansielementit ilman reunapalkkia sekä tyyppin 2 maatukielementit. Ilman reunapalkkia (*IR) valmistettujen kansielementtien osalta voidaan todeta, että toteuma on alittanut lasketut työtunnit reilusti. Tätä poikkeamaa selittää se, että ilman reunapalkkia valetuissa sillankansissa pystyttiin hyödyntämään pitkälti aiemmin rakennettua reunapalkillisen (RP*) sillankansielementin muottia. Maatukielementin T2 työaikamenekki oli arvioitu virheellisesti tarjouslaskennassa. Työaikamenekkiä oli tämän T2-maatukielementin kohdalla alennettu virheellisesti työnsuoritekertoimella. Kokonaisuudessaan muottityön osalta voidaan kuitenkin todeta, että tarjouslaskenta onnistui työmenekin arvioinnissa muottityön osalta ja tuotanto myös toteutti muottityöt onnistuneesti.

Muottityön tuotannosuunnittelussa havaittiin kuitenkin projektin aikana muita haasteita, jotka ratkaisemalla muottityön tehokkuutta ja ennustettavuutta voitaisiin tulevaisuudessa parantaa. Kommunikaatio organisaation eri portaiden välillä korostuu. Kohteen työmenekkejä arvioitaessa on nähtävä koko tuotannon kokonaisuus, mitä ollaan valmistamassa. Sarjatuotannolla on iso vaikutus etenkin muottityön määrään. Muottityön arvioinnissa on hyvä panostaa laskentaan, mikäli aiempaa toteumatietoa ei ole saatavilla.

Suurin kehityskohta muottityön osalta tuotannosuunnittelussa ja -ohjauksessa on tuotannosuunnittelu ja -ohjausjärjestelmän kehittäminen nykyaikaiseksi kokonaisvaltaisemmaksi järjestelmäksi. Nykyinen versio Inetto toiminnanohjausjärjestelmästä ei tue yksittäisten työvaiheiden suunnittelua, niiden optimointia ja toteuman seuranta. Kuvassa 10 on nähtävillä kuvitteellisten tietojen pohjalta järjestelmään laadittu tuotantosuunnitelma. Kuvassa ylhäällä näkyy elementin valmistukseen lasketut kokonaistunnit, kappaleet ja valettavan kappaleen koko kuutioina. Esimerkkikuvassa on laadittu vain yhden elementin tuotantosuunnitelma, mutta normaalissa näkymässä näkyy useiden elementtien tuotantosuunnitelmat omilla riveillään ja ylälaidassa näkyy koko päivän tuotantosuunnitelman tuntimäärä.

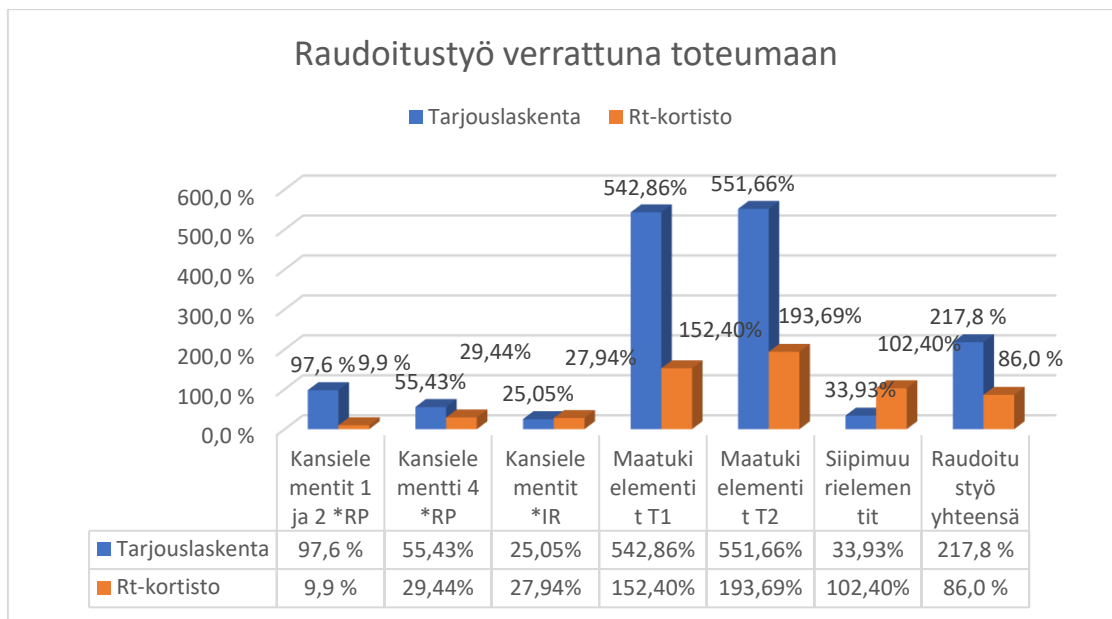
4.2 Raudoitustyö

Raudoitustyö toteutettiin perinteiseen tapaan pääterästen ympärille sidottavilla hakasilla. Raudoitustyöhön kuuluu tuotannossa harjaterästen leikkaus määrämittaan pitkästä harjateräksestä. Tämän jälkeen leikatut harjateräkset siirretään raudoituspisteelle tai taivutusasteelle, mikäli teräksiä tarvitsee taivuttaa. Seuraavana vuorossa on runkohakasten taivuttaminen. Runkohakaset taivutetaan joko automaattikoneella tai käsin raudoitusvengillä hyödyntäen. Korvenkylän tehtaan rajoittavana tekijänä runkohakasten valmistuksessa on tehtaan vanha hakasautomaattikone, jolla voi vääntää ainoastaan 8 mm runkohakasia. Tuotannon tehostamiseksi kovassa kuormitustilanteessa tehdas hankkii alihankintana runkohakasia sekä väännettyjä teräksiä yhteistyökumppanilta. Raudoituspisteellä runkohakaset mitoitetaan harjaterästankojen ympärille raudoituspiirustuksen mittojen mukaisesti. Runkohakaset ja harjaterästangot yhdistetään toisiinsa sitomalangan avulla. Raudoite pyritään valmistamaan valmiiksi raudoituspisteellä, josta se siirretään valmiina raudoitteena runkolavalle muotitettavaksi.

Tuotannosuunnittelussa vastaavanlaisesta kohteesta ei ollut saatavilla historia tietoa myöskään raudoitustyön työmenekistä. Raudoitustyön työmenekkiin vaikuttaa oleellisesti valmistettavan kappaleen ulkomuoto eli profiili ja raudoituksen määrä. Raskaasti raudoitettussa raudoitteessa harjaterästankoja ja hakasia tulee yleensä pienellä jaolla. Tämä tekee raudoitteesta vaikeasti sidottavan ja hidastaa raudoitteen valmistusta.

Tämän kohteen osalta raudoitustyön työmenekien laskennassa oli suuria haasteita. Työmenekien arvioinnissa ei osattu huomioida monimuotoisen kappaleen ja tiheän raudoituksen aiheuttamia haasteita. Raudoitustyön työmenekin laskennassa epäonnistuttiin tämän kohteen osalta. Taulukkoa 7 tulkittaessa huomio kiinnittyy siihen, että etenkin maatukielementtien osalta toteuma on ylittänyt lasketut työtunnit reilusti.

TAULUKKO 7. Raudoitus työn työmenekki tuotetyypeittäin verrattuna toteumaan



Poikkeamalle löytyy useita selittäviä tekijöitä. Raudoitusmäärä laski maatukielementeissä verrattuna siltaelementteihin. Tarjouslaskennassa oli tapahtunut virhe ja työaikaa oli kerrottu alentavalla suorituspäämäärällä, kun todellisuudessa sitä olisi täytynyt nostaa. Lisäksi laskennan pohjalla toimivalla laskentareseptillä raudoitus työn työmenekin lähtöarvo oli virheellinen. Nämä tekijät aiheuttivat yhdessä sen, että raudoituksen työmenekki oli laskettu aivan liian alhaiseksi. Toinen poikkeama selittävä tekijä on se, että tuotanto-organisaatiolla oli haasteita maatukielementtien raudoituksen toteutuksen kanssa. Maatukielementtien raudoitus oli itsessään haastava ja se vaati raudoittajilta ammattitaitoa. Raudoitus oli haastava toteuttaa etenkin raudoitteen ahtauden vuoksi. Toteuman määrää kasvatti se, että työnjohto lisäsi raudoittajien määrää, koska raudoituksessa ei edetty riittävän nopeasti. Jälkikäteen analysoituna raudoittajan lisäyksestä saman raudoitteen pariin ei saatu merkittävää lisähyötyä. Uuden raudoittajan olisi täytynyt aloittaa seuraavan raudoitteen kasaaminen, jotta tehokkuutta olisi kokonaisuudessa parannettu. Tämän ratkaisun tekemisessä olisi auttanut, mikäli tuotantoa ohjaavalla työnjohtolla olisi ollut käytössään tuotannonohjausjärjestelmä, jossa olisi ollut laadittuna raudoitus työlle oma työvaiheen suunnitelma, jossa olisi näkynyt raudoitus työlle laskettu työmenekki sekä toteumatiedon pohjalta etenemätietoja raudoituksen etenemisestä. Näiden tietojen pohjalta tuotantoa ohjaava työnjohtaja olisi voinut tunnistaa virheellisesti lasketun tuntimenekin, miettiä ratkaisuja tilanteen korjaamiseksi keskellä kohteen tuotantoa

ja osannut sitä kautta kohdistaa tuotannon resurssit oikeaan työvaiheeseen oikea-aikaisesti. Raudoitustyön tahdin kuvaamisessa on hyvä käyttää vertailukohtana sitä, kuinka monta kilogrammaa raudoittaja raudoittaa tunnissa. Myös RT-kortiston avulla laskettu työmenekki on kaukana toteutuksen tunneista.

Vastaavanlaisissa raudoituksissa on syytä suunnitella tarkemmin käytettävä raudoitustekniikka ja raudoitteen kasaamisjärjestystä. Tuotannonohjauksen on pystyttävä tukemaan paremmin raudoittajia haastavien raudoitteiden kanssa. Tässä tapauksessa raudoituksen 3d-mallinnuksesta Tekla Structurella tai vastaavalla ohjelmalla olisi ollut todennäköisesti apua tuotannolle, koska yhdeksi hidastavaksi tekijäksi koettiin raudoituspöyrityksen haastava luettavuus. Kokonaisuutta arvioitaessa voidaan todeta, että sekä yrityksen sisäisessä tarjouslaskennassa että RT-kortiston avulla toteutetussa laskennassa raudoitustyön työmenekkiä tulee korottaa etenkin maatumien kaltaisissa haastavissa raudoituksissa.

4.3 Varustelu

Elementtien varustelun työvaiheella tarkoitetaan työvaihetta, jossa elementtiin kiinnitetään siihen tulevat varusteluosat tai tarvikkeet. Varusteluosien mitoitus on yleensä erittäin tarkkaa työtä, joten se ottaa oman aikansa valmistusprosessissa. Varusteluosien avulla elementti liitetään yleensä osaksi toista rakennetta, joten varusteluosien mittatoleranssi on yleensä alle 5 millimetriä. Varusteluosien toimiessa liitososana tai muuna kuormitettavana osana varusteluosan kiinnitys elementtiin saattaa vaatia lisäraudoitusta. Mikäli varusteluosiin ei kohdistu merkittävää kuormaa, varusteluosien kiinnittämiseksi riittää pelkkä sidontalanka ja betonin tartuntaominaisuudet. Elementin varustelu voidaan jakaa kahteen kategoriaan: ennen valua raudoitteeseen kiinnitettäviin osiin ja jälki-kiinnitettäviin osiin. Jälki-kiinnitettävien osien ja varusteiden kiinnitys voi tapahtua hitsaamalla, pulttiliitoksilla, liimaamalla tai naulaamalla. Jälki-kiinnitettävien osien pääkäyttötarkoitus on, se että kohteen muotti voidaan toteuttaa mahdollisimman yksinkertaisesti eli muottipinta olisi yhtenäinen kokonaisuus. Tuotannonsuunnitteluprosessissa valuosien kiinnitystä mietittäessä on hyvä pohtia, mikä on tehokas ja järkevä tapa toteuttaa varustelu. Joissakin tapauksissa muotin rakentaminen monimuotoiseksi ja valmiiksi kokoonpantujen osien käyttö on fiksu. Etenkin, jos jälki-kiinnitettävän osan kiinnitystapa on paljon työresurssia vaativa, kuten luokkahitsaus, tuotantoa voidaan tehostaa tilaamalla osat valmiiksi kokoonpantuina valupaketteina.

Case-esimerkissä kohteen varusteluosat sisälsivät vakiovarusteluosia sekä erikoisosia. Esimerkkikohteen vakio-osia olivat HPM-harjateräspultit, SBKL- ja KLR-kiinnityslevyt, neopreenilaakerit sekä nostoankkurit. Kohteen erikoisosia olivat ratarakentamisen osat, joita olivat muun muassa tippuputket, kontaktitapit, törmäyssuojat sekä Flexjoint-liikuntasaumakumit. Kohteen varusteluosien määrien varmistus oli työlästä, koska jokaisessa kuvassa ei ollut selkeää varusteluetteloa ja kuvissa oli käytetty lyhenteitä. Lisäksi erikoisvarusteluosiin liittyivät omat Väyläviraston taitorakenneyksikön laatimat detaljipiirustukset ja ohjeet. Vastaavaa kokemusta ratarakentamisen silta-kohteesta tehtaalla ei ollut, joten suunnitelmiin perehtyminen vaati normaalia enemmän aikaa valmistavan tehtaan tuotannonsuunnittelijalta sekä työnjohdolta. Varusteluosien esikiinnitys tapahtui sitomalangalla sitoen. Kyseessä oli kuitenkin ratarakentamisen kohde ja suunnitelmissa jokaiseen varusteluosaan vaadittiin maadoitus. Kohteen suunnitelmissa maadoitukselle annettiin vaihtoehtoksi hitsaaminen tai FeCu-rautakuparikaapeliliitokset. Tehtaalla maadoitustavaksi valittiin hitsaaminen, koska se oli tehtaan toimintatavoissa tutumpi toteutustapa maadoitukselle. Maadoitusosien välisiä liitoksia ei saa toteuttaa pelkästään metallilangalla (esim. surrilangalla).

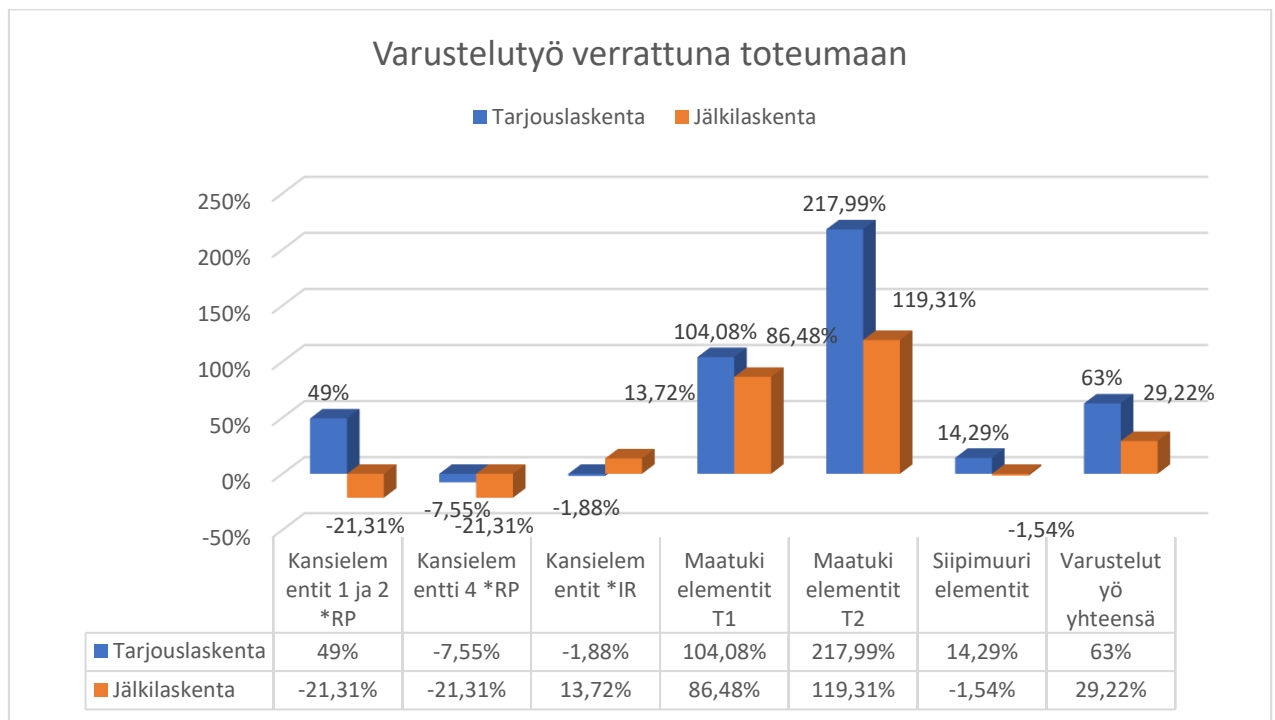
Tuotannonsuunnittelussa ja -ohjauksessa maadoituksen toteutustavan valinnassa olisi voitu huomioida paremmin tiheä rauditus ja valita maadoitus tavaksi kaapeliliitokset, koska hitsauksen toteuttaminen ahtaassa tilassa oli työlästä ja aikaa vievää. FeCu-rautakuparikaapeli ja sen liittimet ovat kuitenkin hankintahinnaltaan moninkertaisesti kalliimpia kuin hitsaustyön toteutus, joten hitsausta on syytä käyttää ensisijaisena toteutustapana.

Varhaisessa tuotannonsuunnittelussa varusteluosien ja -tarvikkeisiin reagointi on ensisijaisen tärkeää. Tarjouslaskentavaiheessa huolellinen kuviin perehtyminen korostuu. Varusteluosien saataavuuteen ja hintaan vaikuttaa oleellisesti niiden materiaali ja mahdollinen erikoispintäkäsittely. Esimerkkikohteessa teräksiset varusteluosat olivat kuumasinkittyjä tai ruostumattomia. Kuumasinkitykselle oli Väyläviraston ohjeiden mukaisesti määritelty passivoitumisaika. Passivoitumisajaksi oli esimerkkikohteessa määritetty 8 viikkoa osien kuumasinkityksestä. Tiiviillä aikataululla valmistettavassa kohteessa tällaisten vaatimusten täyttyminen saattaa muodostua erikoisosien osalta ongelmaksi. Tiedonkulku erikoisosien tarpeesta olisi hyvä varmistaa aina tuotannonsuunnittelu ketjussa. Kohteen tullessa kaupaksi erikoisosat tulee saada tilaukseen mahdollisimman jouhevaksi. Tarjouslaskija on voinut jo kartoittaa ennakkoon erikoisosien valmistajaa ja niiden mahdollista toimitusaikaa. Vakiomateriaaleja on yleensä saatavilla tai niille on saatavilla korvaava vastaava tuote. Eri-

koisosien asentamiseen vaadittavaa työmenekkiä arvioidessaan tarjouslaskijan on hyvä tehdä yhteistyötä valmistavan tehtaan tuotannosuunnittelijan ja työnjohdon kanssa. Jotkin varusteluosat voivat olla työläitä kiinnittää tai ne voivat vaativat lisätyötä muottiratkaisun tai raudoituksen toteutuksessa.

Taulukosta 8 voidaan huomata, että jälkilaskenta oli varusteluosien osalta lähempänä toteutuneita työtunteja kuin tarjouslaskenta. Tämä selittyy sillä, että tarjouslaskennassa ei huomioitu kuvissa lyhenteillä merkattuja varusteluosia eikä elementtien asennuskuvissa näkyviä sekä työselosteessa mainittuja varusteluosia, joten laskennassa osien määrä poikkesi toisistansa. Varustelutyön laskennan osalta jälkilaskennassa ei voitu hyödyntää RT-kortiston taulukkoarvoja, koska RT-kortiston taulukkoarvoissa ei ole määritetty työaikamenekkejä vastaavanlaisille varusteluosille. Jälkilaskennassa on siis käytetty Parman työmenekkiarvoja ja määrät on laskettu samoista kuvista, jotka olivat käytössä tarjouslaskentavaiheessa.

TAULUKKO 8. Varustelutyön työmenekki tuotetyypeittäin verrattuna toteumaan



4.4 Betonointi

Betonointityövaiheella tarkoitetaan betonin valua ja kostean betonin pintakäsittelyiden toteuttamista. Esimerkkikohteessa betonointi oli sillankansielementtien osalta kaksiosainen. Ensin valettiin pohjavalu eli varsinainen elementti ja tämän jälkeen elementtiä jälkihoidettiin 7 vuorokauden ajan ja jälkihoitoajan jälkeen elementin pinta hiekkapuhallettiin. Hiekkapuhalluksen jälkeen tilaaja kävi ottamassa elementistä kosteusnäytteen, joka toimitettiin laboratorioon analysoitavaksi. Kun elementti oli kuivunut riittävästi, ulkopuolinen tilaajan järjestämä urakoitsija teki vedeneristyksen sillan kansielementin päälle. Vedeneristyksen jälkeen elementin kannen päälle suoritettiin toinen osavalu eli kannen pintavalu. Maatukielementtien, palkkielementtien sekä siipimuurielementtien valu suoritettiin yhdessä osassa.

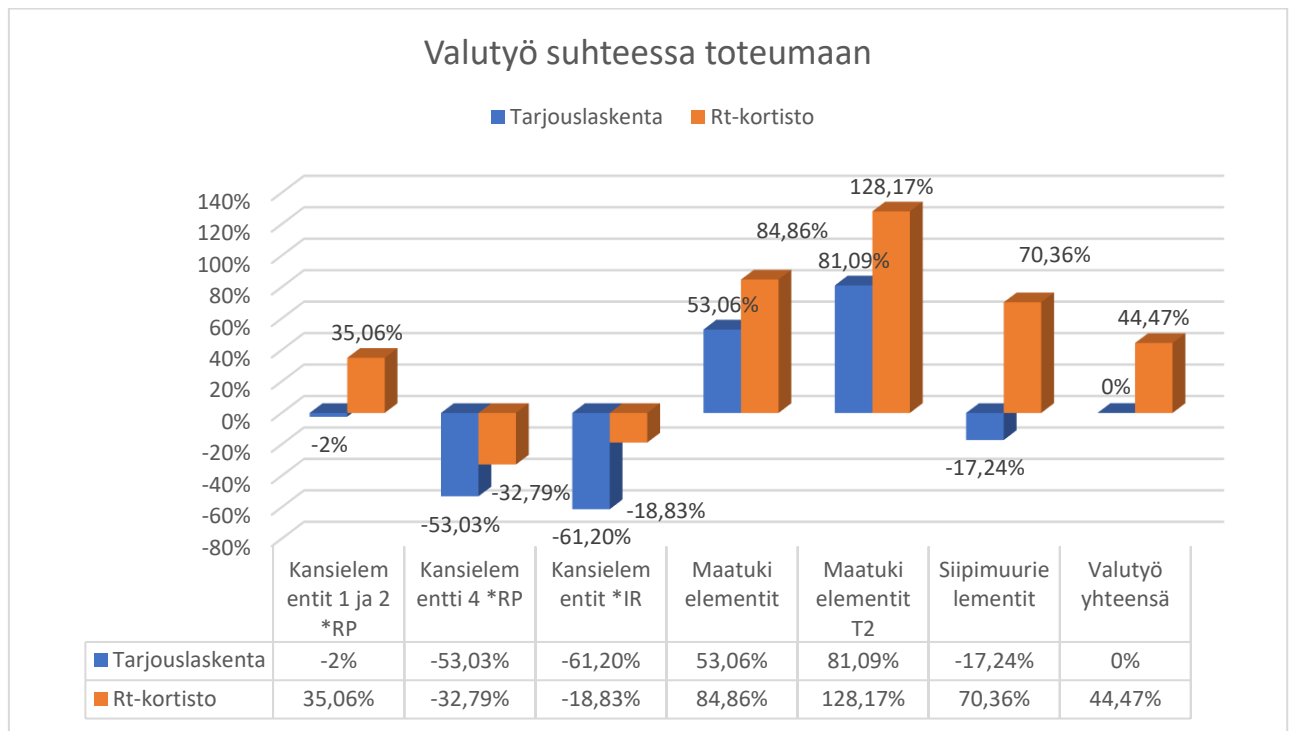
Sillan kannet valettiin suunnitelmien mukaisella P-lukubetonilla. P-lukubetoni valmistettiin ja testattiin infrabetonien valmistusohjeen mukaisesti. Betonin laadussa ei havaittu valmistuksen aikana puutteita. Betonin työstettävyyden kanssa oli pieniä ongelmia, kun hallin lämpötila nousi helteiden aikana korkeaksi ja käytössä oleva P-lukubetoni on itsessään jäykkää P50-vaatimuksen täyttävää betonimassaa. Betonimassa kovettui siis huomattavasti nopeampaa, kun hallin olosuhteet muuttuivat, ilmankosteus pieneni ja lämpötila tuotantotiloissa nousi. Betonin työstettävyyttä pystyttiin kuitenkin parantamaan pienellä vesimäärän lisäyksellä ja valut pyrittiin ajoittamaan tuotannossa aamuaikaan, jolloin olosuhteet valamiselle olivat optimaalisemmat. Vesimäärän lisäys pystyttiin suorittamaan, koska elementit valettiin suunnitelmissa ilmoitettua jäykemmällä betonimassalla, joten sillä ei ollut vaikutus vesisementtisuhteeseen ja sitä kautta betonin lujuuteen. Valuryhmän koosta kasvatettiin pinnan tekemisen ajaksi, jotta elementin pinta saatiin tehtyä lyhyemmässä ajassa.

Tuotannonohjausjärjestelmä ei tukenut parhaalla mahdollisella tavalla elementtien kaksivaiheista betonointia. Tuotannonohjausjärjestelmässä elementin valukuittaus tapahtui siinä vaiheessa, kun varsinainen elementti valettiin. Tuotannonohjausjärjestelmässä ei siis onnistunut jaksottaa eri työvaiheita eri ajankohtiin, vaan elementti näkyi yhtenä kokonaisuutena, joka kuitataan järjestelmästä työvaiheena päättyneeksi silloin, kun elementti valetaan. Tämä luonnollisesti vääristää hienokuormituskäyrää, koska työpanokset keskittyvät ainoastaan valupäivän jaksottamiseen ajankohtaan. Pinta-valun osuus kokonaistyömäärästä on pieni, joten se ei aiheuta suurta

vääristymää kuormitukseen, ja sitä kautta sen aiheuttama vääristymä on lähes mitätön, mutta projektinhallinnan kannalta elementin työajan hajottaminen yksittäisiksi työkorteiksi toisi sen edun, että projektin etenemisen seurattavuus olisi koko toiminnanohjausketjussa läpinäkyvämpää.

Betonoinnin työmenekin laskennassa voidaan todeta taulukon 9 perusteella, että tarjouslaskenta onnistui laskemaan loppujen lopuksi kohteen betonoinnin työmenekin todella tarkasti lähelle toteutunutta työmäärää. RT-kortiston yleisellä taulukkoarvolla arvioitu valutyön työmenekki jäi kauas toteumasta. RT-kortiston laskentaa olisi voitu korjata työsuoritekertoimen optimoinnilla valumäärän ja valettavan kappaleen ominaisuuksien mukaan, mutta laskennassa haettiin yhtä vertailutyömenekkiarvoa. Työsuoritekertoimella pyritään oikaisemaan työmenekkiä, kun kappaleen koko on normaalista poikkeava eli keskikokoista kappaletta huomattavasti pienempi tai suurempi. Esimerkiksi kaltevan pinnanteko voi vaatia kaksiosaista valua eli ensin valetaan pohja ominaisuuksiltaan notkeammalla massalla, jonka jälkeen odotellaan hetki betonin jähmettymistä, jonka jälkeen kalteva osuus valetaan jäykemmällä massalla. Laskennassa tulisi osata hahmottaa hyvin yksittäisten kappaleiden vaatima betonimäärä, valutekniikka sekä valettavan kappaleen ulkomuoto.

TAULUKKO 9. Valutyön työmenekki tuotetyypeittäin verrattuna toteumaan



4.5 Pintakäsittelyt

Elementtien pintakäsittelyllä tarkoitetaan luvussa 2.5 esiteltyjä pinnan käsittelyitä. Elementtisuunnitelmissa oli annettu laatuluokituksia eri pinnoille. Korkeimpaan AA laatuluokitukseen kuuluivat reunapalkkien yläpinnat, eristettävä kannen osa ja muut näkyviin jäävät pinnat. Näkymättömiin jäävät pinnat kuuluivat laatuluokkaan C. Lisäohjeistuksena kansielementin eristettävälle osalle oli määrätty pinnan hiertotavaksi puuhierretty pinta.

Elementtien pintakäsittelyt jakaantuivat kolmivaiheisiksi työvaiheiksi. Kostealle betonipinnalle tehtiin käsittelynä suunnitelmissa esitetty pinnan puuhierto tai teräslippaus riippuen elementin käsiteltävästä osasta. Muottien purun yhteydessä elementin pintoihin ruiskutettiin jälkihoitoaine, jonka jälkeen elementit siirtyivät peitteiden alle 7 vuorokauden jälkihoitoon. Jälkihoidon aikana elementin pintoja kasteltiin säännöllisin väliajoin. Jälkihoitoajan jälkeen elementtien reunapalkit, tartuntasiveltävät osat ja sillankannen eristettävä osa hiekkapuhallettiin riittävien tartuntaominaisuuksien saavuttamiseksi. Hiekkapuhallutuksen syvyysluokkaa ei ollut selkeästi mainittu elementin valmistussuunnitelmissa. Hiekkapuhallutuksen jälkeen eristettävistä kannen osista otettiin tilaajan toimesta kosteusnäytteet ja elementit saivat jatkaa kuivumista tuloksien tuloon saakka. Kun elementit olivat riittävän kuivia, ulkopuolinen urakoitsija tuli tekemään sillan kansille, maatukielementeille sekä siipimurielementeille vedeneristyksen. Sillan kannet kermitettiin ja muiden elementtien maanalle tuleville osille tehtiin kosteusrasitusta vähentävä kumibitumisively. Näkyviin jääville reunapalkeille ja niiden pinnoille suunnitelmissa oli esitetty käsittelyksi impregnointi ja töhrynsuojaus. Impregnoinnilla pyritään suojaamaan betonipintaa ulkoisilta rasituksilta ja pidentämään sen elinkaarta. Impregnointi suojaa betonipintaa haitalliselta aineilta kuten kloridilta ja muilta vesipitoisilta aineilta. Lisäksi impregnointi suojaa pintaa likaantumiselta ja homesienikasvustoilta. Impregnointiaine tunkeutuu syväälle rakenteeseen ja lisää jäätymis-sulamisrastiuksen kestoa ja suojaa betoniteräksiä korroosiolta. Impregnointi suoritettiin suihkuttamalla ja telaamalla impregnointi ainetta elementin pintaan. Käsittely toteutettiin kahteen kertaan. Suunnitelmissa impregnointi oli esitetty tehtäväksi 28 vrk:n ikäiseen betoniin. Valmistuksen ja toimitusajankohdan ollessa lähellä toisiaan tilaajan hyväksynnällä tätä vaatimusta alennettiin.

Elementtien pintakäsittelyt on hyvä ottaa huomioon tarjouslaskennassa, projektinhallinnassa sekä tuotannosuunnittelussa- ja ohjauksessa. Tässä kohteessa tarjouslaskenta oli ottanut huomioon pintakäsittelyt ja rajannut muun muassa impregnoinnin erikseen veloittavaksi kustannukseksi.

Projektinhallinnassa sekä tuotannosuunnittelussa olisi voitu huomioida paremmin pintojen laatu-
luokitusvaatimukset sekä jatkokäsittelypintojen vaatimukset. Valmiille betonipinnalle ei järjes-
tetty erillistä dokumentoitua katselmusta. Vedeneristysten yhteydessä lisätyötä tuotti kannen pin-
taosan hierontapa sekä hiekkapuhallituksen syvyyden taso. Ulkopuolisen eristäjän asentama sil-
lankannen kermitys vaati tartuntaominaisuuksiltaan riittävän karheaa pintaa. Suunnitelmissa osoi-
tetulla puuhierrolla ei saatu pintaa riittävän karheaksi, joten pintaa jouduttiin karhentamaan lisää
hiekkapuhaltamalla pinta toiseen kertaan, mikä lisäsi työmäärää. Perinteinen hiekkapuhallutus-
hiekkajoututtiin myös vaihtamaan oktoon eli Okto-Ferrokromikuonaan, koska se on ominaisuuksil-
taan kovempaa ja se avaa betonin pintarakennetta paremmin. Pinnan karheuteen vaikuttivat oleel-
lisesti toteutetun pintahierron laatu sekä hiekkapuhallituksen syvyys. Pinta ei kuitenkaan saanut olla
myöskään liian karhea, ettei se riko päälle tulevaa vedeneristettä.

4.6 Laadunvarmistus

Betonielementtiteollisuudessa laadunvarmistusta toteutetaan systemaattisesti koko tuotantopro-
sessin aikana. Elementtiä valmistaessa piirustusten ja muiden valmistusdokumenttien mukana kul-
kee elementin tarkastuskortti, johon työvaiheen suorittanut henkilö kuittaa omalla allekirjoituksel-
laan kyseisen työvaiheen laadullisen tarkastuksen. Tämän lisäksi elementtitehtaalla on laatuvas-
taava, joka valvoo yleisesti tuotteiden valmistuksen laatua sekä tarvittaessa ohjeistaa työntekijöitä
laadunvarmistuksessa ja laadullisen tuotannon toteuttamisessa. Laatuvasaavan lisäksi yleistä laa-
tua varmistaa työnjohto omalla valvonnallaan. Tärkeä osa laadunvarmistamista on dokumentoitu
elementtikatselmus. Infrarakentamisen yleisessä rakentamisen laadun ohjeessa on mainintana,
että elementtien valmistus voidaan aloittaa vasta sen jälkeen, kun elementtitehtaalla on pidetty
tehdaskatselmus, jossa on käsitelty vähintään seuraavat asiat: toimituksen sisältö, suunnittelunti-
lanne ja -aikataulu, mallielementit ja betonipintojen mallit, työselostus koskien elementtien valmis-
tusta, käytettävät materiaalit, tehtaan laadun varmistus, elementtien viimeistely ja varastointi, kul-
jetus, elementtien vastaanottotarkastus sekä valmistus- ja toimitusaikataulut. Elementtikatselmus
luo eräänlaisen laadullisen pohjan elementtien laadulliselle toteutukselle. Elementtikatselmuksessa
voidaan tehdä tarkennuksia laadunvarmistukseen tai laadulliseen toteutukseen. Samalla varmistee-
taan, että molemmat osapuolet ovat yksimielisiä lopullisen tuotteen valmistuksesta.

Esimerkiksi muotin valmistuksessa noudatetaan kuvissa annettuja mittoja ja mittatoleransseja. Muottityön laadunvarmistuksessa raudoitetta muotittava henkilö tarkastaa muotin mitat, asemoinnin, varusteluosien mahdollisten varauksien sijainnin sekä muotin puhtauden. Mahdolliset puutteet on korjattava ennen työvaiheen valmiiksi kuittaamista. Raudoitukselle, varustelulle sekä betonoinnille ovat omat samankaltaiset kohtansa laadunvarmistuskortissa.

Teräsbetonituotteiden kohdalla laativastaava tai hänen sijaisensa tekee valmiille betonoiduille elementeille ulkoisen silmämääräisen tarkastuksen sekä tarkemittaa jokaisen elementin. Tarkastuksesta täytetään sähköinen tarkastuslomake yrityksen sisäisessä Consolis Mobile Tools -työkaluissa. Silmämääräisessä tarkastuksessa avataan elementtikuva ja tarkastellaan elementin vastavuus suunnitelmissa esitettyihin laatuvaatimuksiin. Elementistä tarkastetaan muun muassa valupintojen laatu ja viisteiden kunto. Tarkemittauksessa elementistä mitataan päämitat ja varusteluosien sijainti. Mikäli tarkastuksessa havaitaan poikkeamia, jotka ylittävät suunnitelmissa esitetyt toleranssit, tarkastuksesta kirjataan laatupoikkeamaraportti. Laatupoikkeaman korjaamiseksi otetaan yhteyttä elementtisuunnittelijaan, jolta kysytään toimenpideohjeet poikkeaman korjaamiseksi. Projektinhoito on laatupoikkeamista yhteydessä asiakkaaseen.

Case-esimerkkikohteen alussa järjestettiin elementtikatselmus, johon osallistuivat Parman puolesta projektipäällikkö, tehdaspäällikkö, tuotannosuunnittelu ja työnjohto. Lisäksi paikalla olivat asiakkaan edustajat sekä kohteen ulkopuolinen valvoja. Elementtikatselmuksesta laadittiin asianmukainen pöytäkirja, jonka molemmat osapuolet allekirjoittivat. Case-esimerkkikohteen osalta laadunvarmistusta toteutettiin asiakkaan pyynnöstä normaalia laajemmassa mittakaavassa. Asiakas halusi peittyivistä osista eli raudoituksesta sekä varustelusta valokuvadokumentin, joka liitettiin osaksi sähköistä laadunvarmistusdokumenttia. Lisäksi koska kyseessä on ratarakentamisen kohde, elementit sisälsivät maadoituksia, joten maadoituksille tehtiin maadoituksen jatkuvuuden varmistus maadoitusmittauksella. Maadoitusmittauksesta laadittiin erillinen maadoitusmittauspöytäkirja. Pöytäkirjasta tulee löytyä päivämäärä, elementtitunnus, mittauspisteet, mittaustulos eli vastus, käytetty mittalaite sekä mittaajan allekirjoitus. Asiakkaalle luovutettiin myös betonin puristuslujuuskokeiden tulokset sekä kohteessa käytettyjen materiaalien suoritusasoilmoitukset, joilla varmennetaan materiaalien luotettavuus ja asianmukaisuus. Case-esimerkkikohteen laadunvarmistuksessa ei havaittu ongelmakohtia eikä puutteita. Tehdas onnistui laadullisesti kohteen valmistuksessa esimerkillisesti.

5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tuoda esille infraelementtien valmistuksen erityispiirteitä eli asioita, jotka poikkeavat totutusta normaalista runkoelementtien tuotannosta. Työn tavoitteena oli myös esittää kehitysideoita tuotannosuunnittelu ja -ohjausjärjestelmän parantamiseksi. Työssä käytettiin case-esimerkkinä kesällä 2023 toteutettua infrarakentamisen kohdetta. Kohteen avulla nostettiin esille tuotannosuunnittelussa ja -ohjauksessa havaittuja kehityskohtia.

Opinnäytetyön tuloksena voidaan todeta, että infraelementtien valmistuksen tuominen osaksi vakioitua tuoteperhettä vaatii tuotannosuunnittelulta ja -ohjaukselta normaalia suurempaa työpanosta ja uusien asioiden sisäistämistä. On erittäin tärkeää, että tuotannosuunnittelussa ja -ohjauksessa huomioidaan valmistettavan elementin käyttötarkoitus ja sen tuomat kohteen erityispiirteet. Käyttötarkoitus vaikuttaa oleellisesti muun muassa betonointiin, jälkihoitoon ja mahdollisiin elementin pintakäsittelyihin. Infraelementtien laatuluokitukset ja laadullinen dokumentaatio on elementtiteollisuudessa hyvin samankaltaista infraelementtien valmistuksessa kuin runkotuotteiden valmistuksessa. Elementtiteollisuudessa nojataan vahvasti CE-merkinnän mukaisiin, vakioituihin ja tarkasti varmistettuihin toimintatapoihin sekä tehtaan laadulliseen toiminnankuvaukseen eli laatukäsikirjaan, mikäli tilaaja ei muuta sopimusvaiheessa esitä.

Esimerkkikohteen avulla tarkasteltuna voidaan todeta, ettei tuotannosuunnittelu- ja ohjausjärjestelmä tue suurempien työkokonaisuuksien suunnittelua ja ohjausta. Järjestelmä tukee työmäärältään pieniä ja vakioituja työkokonaisuuksia. Tuotannosuunnittelun kannalta olisi erittäin tärkeää, että elementin valmistukseen käytettävän kokonaisajan lisäksi järjestelmä näyttäisi myös yksittäisille työvaiheille lasketun ajan. Järjestelmässä voisi olla omat erilliset suunnittelunäkymät isojen työkokonaisuuksien, kuten muottityön ja raudoitustyön toteutukselle. Tuotannosuunnittelija sekä työnjohto saisivat järjestelmän datasta tukea tuotantosuunnitelman toteuttamiseksi sekä päätyövaiheiden työvaihesuunnitteluun. Työvaihesuunnittelun avulla mahdolliset tuotannon pullonkaulatilanteet voitaisiin tunnistaa ennalta ja sitä kautta parantaa tuotannon sujuvuutta. Työvaiheisiin käytettävät työpanokset voitaisiin ennalta suunnitella tarkemmin ja data tukisi työnjohtajan päätöksen tekoa resurssien kohdistamisesta eri työvaiheiden välillä. Mikäli eri työvaiheiden toteuma kirjattaisiin järjestelmään, saataisiin tietoa siitä, miten yksittäisten työvaiheiden toteutuneet työmenekit

vastaavat laskettua työaikamenekkiä ja missä tahdissa työvaiheet etenevät. Yksityiskohtaisen toteumatiedon perusteella saataisiin pitkällä aikajänteellä luotua toteutuneista työmenekeistä uskottava toteumatietopohja tarjouslaskennan ja myynnin työkaluksi. Toteumatiedon kirjaus voitaisiin toteuttaa muun muassa lisäämällä Consolis Mobile Tools -sovellukseen työvaihekohtaisen ajankirjauksen tuotteen työvaihekohtaisen laaduntarkastuslomakkeen yhteyteen. Työnjohdon tulisi toki tarkastaa nämä toteumatiedot mahdollisten poikkeamien ja kirjausvirheiden varalta. Toteumatietojen avulla myös tehdaspäällikkö, projektinhallinta sekä myynti saisivat ajankohtaista dataa tehtaan todellisesta kokonaisuormituksesta ja valmistuskapasiteetista. Edellä mainitut parannukset tarjoaisivat myös asiakkaillemme parempaa asiakaspalvelukokemusta, mikäli projektinhoidolla olisi mahdollisuus nähdä tuotannon tilaa yksityiskohtaisemmin, koska elementtien valmistuksesta olisi enemmän yksityiskohtaista tietoa saatavilla. Projektinhallinta pystyisi seuraamaan toteumatietojen perusteella tarkemmin tuotannon etenemää ja mahdollisissa ongelmatilanteissa ilmoittamaan asiakkaalle tuotannon viivästyksistä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

Tämän työn työaikamenekkien laskennan tuloksien luotettavuutta kyseenalaistaa pieni otanta eli yksi valmistettu kohde. Laskennat osoittavat kuitenkin sen, että ilman toteumatietoa uuden tuotetypin työmenekkiä on hankalaa arvioida. Tarjouslaskennan lähtötietoina käytössä olevat tehtaan nykyiset laskentareseptit eivät olleet ajan tasalla tai sieltä puuttui jopa tietoja. Taulukkoarvojen avulla päästiin kokonaisuudessaan lähemmäksi toteumaa, mutta taulukkoarvot ovat vain suuntaa antavia ja niiden käyttöä tulee harkita tapauskohtaisesti. Vertailukohtana lasketuille työaikamenekeille on käytetty kerättyjä toteumatietoja. Käytettäessä vertailukohtana toteumaa täytyy pohtia ja tarkastella kriittisesti mistä toteuma koostuu sekä mitkä asiat sen muodostumiseen ovat vaikuttaneet. Lisäksi uuden tuotetypin valmistus tarkoitti koko tehtaan henkilöstölle uusien asioiden opettelua eli vastaavan kohteen tuotanto sekä tuotannosuunnittelu sujuisivat varmasti tehokkaammin.

Mielestäni yrityksen tuotannosuunnittelu ja -ohjausjärjestelmä vaatii päivitystä nykyaikaisemmaksi, paremmin monialaista tuoteperhettä palvelevaksi järjestelmäksi. Mikään järjestelmä ei korvaa puhdasta ammattitaitoa, mutta mikäli tuotantoa halutaan suorittaa mahdollisimman hallitusti, tehokkaasti ja optimoidusti jatkuvasti omaa toimintaa kehittäen, tänä päivänä tueksi tarvitaan toiminnallinen tuotannosuunnittelu ja -ohjausjärjestelmä. Esitettyjen ominaisuuksien toteuttaminen vaatii kuitenkin yrityksen sisällä voimakasta tahtotilaa asian edistämiseksi sekä ydinajatuksen jatkokehittelyä siitä, mitä toiminnallisen nykyaikaisen tuotannosuunnittelu ja -ohjausjärjestelmän pitäisi pitää sisällään.

LÄHTEET

Fikuro 2023. Tuotannonohjaus - mitä, miten, miksi? Visma Amplio Oy. Hakupäivä 25.2.2024.

<https://www.fikuro.fi/blogi/tuotannonohjaus>

Haverila, Matti, Kouri, Ilkka, Miettinen, Asko & Uusi-Rauva, Erkki 2005. Teollisuustalous. Tampere: Infacts.

InfraRYL 2023/2. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 15.1.2024. Vaatii lisenssin

Mantila, Ari, Punkki, Jouni & Vuotari, Jussi 2021. Uusi Infrabetonien valmistusohje tuli voimaan 1.1.2021. Betonilehti 1/2021. Hakupäivä 13.1.2024. <https://betoni.com/lehti/betonilehti/1-2021/>

Ote 2023. Vettä hylkivä pinta impregnoinnilla. Ote Oy. Hakupäivä 26.2.2024. [Impregnointi Helsinki | Suojaa betoni- ja tiilipinnat tehokkaasti \(ote.fi\)](https://www.ote.fi/impregnointi-helsinki-suojaa-betoni-ja-tiilipinnat-tehokkaasti)

SFS-EN 12350-2:2019. Tuoreen betonin testaus. Osa 2: Painuma. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 15.1.2024. Vaatii lisenssin.

<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/987966.html.stx>

Sipper, Daniel & Bulfin, Robert 1997. Production: Planning, Control and Integration. Yhdysvallat: McGraw-Hill.

By 40 Betonirakenteiden pinnat / luokitusohjeet 2021. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Rakennustöiden menekit 2020. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 11.2.2024. Vaatii lisenssin.

Väylävirasto 2020. Väyläviraston ohjeita 41/2020. Infrabetonien valmistus. Hakupäivä 13.1.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-41_infrabetonien_valmistus_web.pdf

Väylävirasto 2022. Väyläviraston ohjeita 5/2022. Eurokoodin soveltamisohje Betonirakenteiden suunnittelu-NCCI 2. Hakupäivä 11.2.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-5_NCCI_2_web.pdf

Väylävirasto 4/2019. Siltojen betonirakenteiden korjausohje 2.252 2019. Betonipinnan Impregnointi työkohtaiset laatuvaatimukset. Hakupäivä 25.2.2024. <https://ava.vaylapiilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio2/s2252.pdf>